



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

CARRERA DE INGENIERÍA EN MEDIO AMBIENTE

ESTUDIO DE CASO

Título:

“ESTUDIO DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO
GUAYLLABAMBA, UBICADO DENTRO DEL DISTRITO
METROPOLITANO DE QUITO EN EL PERIODO 2013-2019”

Estudio de caso previo a la obtención del título de Ingeniera en Medio
Ambiente

Autora

Iza Quispe Gloria Germania

Tutora

MSc. Ruiz Depablos Joseline Luisa

LATACUNGA – ECUADOR

Septiembre 2020

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Iza Quispe Gloria Germania, con cédula de ciudadanía No. 0503613069, declaro ser autora del presente estudio de caso: “Estudio de la calidad del agua del río Guayllabamba, ubicado dentro del Distrito Metropolitano de Quito en el periodo 2013-2019”, siendo la Ingeniera MSc. Ruiz Depablos Joseline Luisa, Tutora del presente trabajo; y, eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Latacunga, 18 de septiembre del 2020

.....
Gloria Germania Iza Quispe

CC: 0503613069

CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR

Comparecen a la celebración del presente instrumento de cesión no exclusiva de obra, que celebran de una parte **IZA QUISPE GLORIA GERMANIA**, identificada con cédula de ciudadanía **0503613069**, de estado civil soltera, a quien en lo sucesivo se denominará **LA CEDENTE**; y, de otra parte, el Ing. M.B.A. Cristian Fabricio Tinajero Jiménez, en calidad de Rector y por tanto representante legal de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con domicilio en la Av. Simón Rodríguez, Barrio El Ejido, Sector San Felipe, a quien en lo sucesivo se le denominará **LA CESIONARIA** en los términos contenidos en las cláusulas siguientes:

ANTECEDENTES: CLÁUSULA PRIMERA. – **LA CEDENTE** es una persona natural estudiante de la carrera de **Ingeniería en Medio Ambiente**, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado **Estudio de Caso**, la cual se encuentra elaborada según los requerimientos académicos propios de la Facultad, según las características que a continuación se detallan:

Historial académico

Fecha de Inicio de la carrera: Abril 2016 - Agosto 2016

Fecha de Finalización: Mayo 2020 – Septiembre 2020

Aprobación en Consejo Directivo: 07 de Julio del 2020

Tutor: Ing. MSc. Ruiz Depablos Joseline Luisa

Tema: “Estudio de la calidad del agua del río Guayllabamba, ubicado dentro del Distrito Metropolitano de Quito en el periodo 2013-2019”

CLÁUSULA SEGUNDA. - **LA CESIONARIA** es una persona jurídica de derecho público creada por ley, cuya actividad principal está encaminada a la educación superior formando profesionales de tercer y cuarto nivel normada por la legislación ecuatoriana la misma que establece como requisito obligatorio para publicación de trabajos de investigación de grado en su repositorio institucional, hacerlo en formato digital de la presente investigación.

CLÁUSULA TERCERA. - Por el presente contrato, **LA CEDENTE** autoriza a **LA CESIONARIA** a explotar el trabajo de grado en forma exclusiva dentro del territorio de la República del Ecuador.

CLÁUSULA CUARTA. - **OBJETO DEL CONTRATO:** Por el presente contrato **LA CEDENTE**, transfiere definitivamente a **LA CESIONARIA** y en forma exclusiva los siguientes derechos patrimoniales; pudiendo a partir de la firma del contrato, realizar, autorizar o prohibir:

- a) La reproducción parcial del trabajo de grado por medio de su fijación en el soporte informático conocido como repositorio institucional que se ajuste a ese fin.
- b) La publicación del trabajo de grado.
- c) La traducción, adaptación, arreglo u otra transformación del trabajo de grado con fines académicos y de consulta.

d) La importación al territorio nacional de copias del trabajo de grado hechas sin autorización del titular del derecho por cualquier medio incluyendo mediante transmisión.

e) Cualquier otra forma de utilización del trabajo de grado que no está contemplada en la ley como excepción al derecho patrimonial.

CLÁUSULA QUINTA. - El presente contrato se lo realiza a título gratuito por lo que **LA CESIONARIA** no se halla obligada a reconocer pago alguno en igual sentido **LA CEDENTE** declara que no existe obligación pendiente a su favor.

CLÁUSULA SEXTA. - El presente contrato tendrá una duración indefinida, contados a partir de la firma del presente instrumento por ambas partes.

CLÁUSULA SÉPTIMA. - CLÁUSULA DE EXCLUSIVIDAD. - Por medio del presente contrato, se cede en favor de **LA CESIONARIA** el derecho a explotar la obra en forma exclusiva, dentro del marco establecido en la cláusula cuarta, lo que implica que ninguna otra persona incluyendo **LA CEDENTE** podrá utilizarla.

CLÁUSULA OCTAVA. - LICENCIA A FAVOR DE TERCEROS. - LA CESIONARIA podrá licenciar la investigación a terceras personas siempre que cuente con el consentimiento de **LA CEDENTE** en forma escrita.

CLÁUSULA NOVENA. - El incumplimiento de la obligación asumida por las partes en las cláusulas cuartas, constituirá causal de resolución del presente contrato. En consecuencia, la resolución se producirá de pleno derecho cuando una de las partes comunique, por carta notarial, a la otra que quiere valerse de esta cláusula.

CLÁUSULA DÉCIMA. - En todo lo no previsto por las partes en el presente contrato, ambas se someten a lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, Código Civil y demás del sistema jurídico que resulten aplicables.

CLÁUSULA UNDÉCIMA. - Las controversias que pudieran suscitarse en torno al presente contrato, serán sometidas a mediación, mediante el Centro de Mediación del Consejo de la Judicatura en la ciudad de Latacunga. La resolución adoptada será definitiva e inapelable, así como de obligatorio cumplimiento y ejecución para las partes y, en su caso, para la sociedad. El costo de tasas judiciales por tal concepto será cubierto por parte del estudiante que lo solicitare.

En señal de conformidad las partes suscriben este documento en dos ejemplares de igual valor y tenor en la ciudad de Latacunga, a los 18 días del mes de septiembre del 2020.

.....
Gloria Germania Iza Quispe

LA CEDENTE

.....
Ing. MBA. Cristian Tinajero Jiménez

LA CESIONARIA

AVAL DEL TUTOR DEL ESTUDIO DE CASO

En calidad de Tutora del Estudio de Caso con el título:

“ESTUDIO DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO GUAYLLABAMBA, UBICADO DENTRO DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO EN EL PERIODO 2013-2019”, de Iza Quispe Gloria Germania, de la carrera de Ingeniería en Medio Ambiente, considero que el presente trabajo investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científicos-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Consejo Directivo de la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, 18 de septiembre del 2020

.....
Ing. MSc. Joseline Luisa Ruiz Depablos

TUTORA DEL ESTUDIO

CC: 1758739062

AVAL DE LOS LECTORES DEL ESTUDIO DE CASO

En calidad de Tribunal de Lectores, aprobamos el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi; y, por la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales; por cuanto, la postulante: Pacheco Erazo Lilia Marisol, con el título del Estudio de Caso: “ESTUDIO DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO GUAYLLABAMBA, UBICADO DENTRO DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO EN EL PERIODO 2013-2019”, ha considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de sustentación del trabajo de titulación.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, 18 de septiembre del 2020

.....
Ing. Msc. Patricio Clavijo Cevallos
LECTOR 1 (PRESIDENTE)
CC: 0501444582

.....
Ing. MSc. Jaime Lema Pillalaza
LECTOR 2
CC: 1713759932

.....
Ing. MSc. José Agreda Oña
LECTOR 3
CC:0401332101

AGRADECIMIENTO

A Dios por la vida, por permitirme tener una familia incondicional, por la sabiduría, constancia y fuerza para alcanzar mis metas y culminar esta etapa académica.

A mis padres por quererme, cuidar de mí, inculcarme valores, gracias por todo su esfuerzo y sacrificio que día a día realizan, siento que me faltaría una vida entera para agradecerles por todo lo que han hecho por mí, son los mejores.

A mis amigos y amigas que siempre estuvieron junto a mí apoyándome.

A la Universidad Técnica de Cotopaxi en especial a la carrera de Ingeniería en Medio Ambiente lugar donde recibí los conocimientos y experiencia que me ayudaron a crecer como persona y formarme como profesional, agradezco a mis docentes por compartir su conocimiento de esta hermosa profesión. En particular a mi tutora MSc. Ruiz Depablos Joseline Luisa por su valiosa ayuda, guía y asesoramiento durante el desarrollo de este estudio de caso.

Gloria Germania Iza Quispe

DEDICATORIA

A mis queridos padres Gloria Quispe y Germánico Iza por ser el apoyo incondicional, por confiar y creer en mi para llegar a cumplir este sueño tan anhelado. A mis hermanos Esthela, Rafael y Leticia por su apoyo e infinito amor los quiero mucho.

A Stalin Velastegui, Alexis Malliquinga, Holguer Lema, Bryan Vega, Joel Cruz, Cristian Guachamin, Cynthia Plasencia y Katty Tonato que de una u otra manera me han apoyado y ofrecido su cariño constante.

Gloria Germania Iza Quispe

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

TÍTULO: “ESTUDIO DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO GUAYLLABAMBA, UBICADO DENTRO DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO EN EL PERIODO 2013-2019”

AUTORA: Iza Quispe Gloria Germania

RESUMEN

El presente estudio evaluó la calidad del agua del río Guayllabamba ubicado dentro del Distrito Metropolitano de Quito durante el periodo 2013-2019, en época seca y lluviosa, mediante la aplicación del índice simplificado de calidad de agua (ISQA), que conlleva el análisis de parámetros fisicoquímicos: Temperatura, Demanda química de oxígeno, Sólidos suspendidos totales, Oxígeno disuelto y Conductividad eléctrica. Además, se realizó una proyección de la calidad del agua dentro de un plazo de 5 años que corresponde al periodo 2020-2024 con el método matemático de descomposición de series de tiempo. Los datos fueron obtenidos del punto de monitoreo del cuerpo hídrico establecido en la Red Metropolitana de Monitoreo del Recurso Hídrico, por la dirección de Políticas y Planeamiento Ambiental de la Secretaría del Ambiente de Quito. Los resultados de los parámetros fisicoquímicos analizados muestran que la temperatura varió de 19,9 a 24,4°C, la demanda química de oxígeno osciló entre 9,5 a 198 mgL⁻¹, los sólidos suspendidos totales entre 50 a 437 mgL⁻¹, el oxígeno disuelto entre 7,15 a 9,56 mgL⁻¹ y la conductividad eléctrica entre 191,78 a 355,18 uScm⁻¹. Los valores del índice indican que la calidad del agua para los años 2013, 2018 y 2019 fue mala, mientras que para el año 2016 fue regular. Los resultados de la proyección muestran una calidad de agua mala para todo el periodo 2020-2024. Por lo tanto, el agua del río Guayllabamba es apta para recreación por contacto indirecto, refrigeración y riego para cultivos resistentes. Para mejorar la calidad del agua se recomienda establecer sistemas de tratamiento de aguas residuales.

Palabras clave: Descomposición de series de tiempo, índice simplificado de calidad de agua, parámetros fisicoquímicos, proyección, secretaria del ambiente.

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI
FACULTY OF AGRICULTURAL SCIENCES AND NATURAL RESOURCES

TITLE: "STUDY OF WATER QUALITY OF GUAYLLABAMBA RIVER, LOCATED AT METROPOLITAN DISTRICT OF QUITO IN 2013-2019 PERIOD"

AUTHOR: Iza Quispe Gloria Germania

ABSTRACT

The present study evaluated the water quality of Guayllabamba River located at Metropolitan District of Quito during 2013-2019 period, on dry and rainy season, applying the simplified water quality index (ISQA), which involves physicochemical parameters analysis: Temperature, Chemical oxygen demand, Total suspended solids, Dissolved oxygen and Electrical conductivity. In addition, a projection of the water quality was carried out on a period of 5 years corresponding to the period 2020-2024 with mathematical method of time series decomposition. The data was obtained from the monitoring point of the water body established in the Metropolitan Network for Water Resources Monitoring, by the Directorate of Environmental Policies and Planning of Quito Environmental Secretary. The results of the analyzed physicochemical parameters show that the temperature ranged from 19.9 to 24.4 ° C, the chemical oxygen demand ranged from 9.5 to 198 mgL⁻¹, the total suspended solids between 50 to 437 mgL⁻¹, the dissolved oxygen between 7.15 to 9.56 mgL⁻¹ and the electrical conductivity between 191.78 to 355.18 uScm⁻¹. The index values indicate that the water quality for the years 2013, 2018 and 2019 was poor, while for the year 2016 it was regular. The projection results show poor water quality for the entire 2020-2024 period. Therefore, the water of the Guayllabamba River is suitable for recreation by indirect contact, refrigeration and irrigation for resistant crops. To improve water quality, it is recommended to establish wastewater treatment systems.

Keywords: Time series decomposition, simplified water quality index, physicochemical parameters, projection, secretary of the environment.

ÍNDICE DE PRELIMINARES

DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	i
CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR.....	ii
AVAL DEL TUTOR DEL ESTUDIO DE CASO.....	iv
AVAL DE LOS LECTORES DEL ESTUDIO DE CASO.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
DEDICATORIA	vii
RESUMEN.....	viii
ABSTRACT.....	ix

ÍNDICE DE CONTENIDO

1. INFORMACIÓN GENERAL	1
2. INTRODUCCIÓN.....	2
3. PROPÓSITO	5
4. JUSTIFICACIÓN	5
5. PREGUNTAS DE REFLEXIÓN.....	7
6. UNIDAD DE ANÁLISIS QUE DELIMITARÁ LA FRONTERA DEL CASO	8
7. FUNDAMENTOS TEÓRICOS METODOLÓGICOS.....	10
7.1. Recurso hídrico.....	11
7.1.1. Ciclo hidrológico.....	11
7.1.2. Fuentes de agua	11
7.1.3. Contaminación del agua	12
7.1.4. Calidad de agua	13
7.2. Índice de calidad de agua.....	18
7.2.1. Clasificación de los índices de calidad del agua.	19
7.2.2. Usos de los índices	19
7.2.3. Evolución del desarrollo de los índices de calidad.....	20
7.2.4. Índice Simplificado de calidad de Agua.....	25
7.3. Series de Tiempo.....	26
7.3.1. Clasificación de las series temporales	26
7.3.2. Componentes de una serie temporal.....	27
7.3.3. Modelado de una serie de tiempo.....	27

8. PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO	31
8.1. Descripción de la zona de estudio	31
8.2. Selección del caso.....	31
8.3. Acceso al campo.....	32
8.4. Recolección de los datos.....	32
8.5. Análisis de datos	32
8.5.1. Evaluación de la base de datos disponibles.....	32
8.5.2. Selección del modelo ICA.....	34
8.5.3. Conformación de la base de datos inicial	34
8.5.4. Análisis de base de datos para serie de tiempo.....	38
8.5.5. Herramientas Estadísticas	41
8.5.6. Resultados	44
9. LA NARRACIÓN DEL CASO	65
10. LECCIONES Y RECOMENDACIONES.....	68
11.1. Lecciones	68
11.2. Recomendaciones	69
11. BIBLIOGRAFÍA.....	70
12. ANEXOS	77
Anexo 1 Aval de Traducción del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi	77
Anexo 2 Curriculum Vitae	78
Anexo 3 Tabla de Parámetros Físicoquímicos del Río Guayllabamba Comparados con Parámetros de Diferentes Índices de Calidad de Agua	79
Anexo 4 Base de Datos Inicial	80

Anexo 5 Gráficas de Control de los Parámetros Fisicoquímicos del Río Guayllabamba	82
Anexo 6 Tabla de la Base de Datos de Parámetros Fisicoquímicos Relacionados al ISQA del Río Guayllabamba Periodo 2013-2019.....	84
Anexo 7 Tabla de Prueba de Valores Z en la Base de Datos de Parámetros Fisicoquímicos del Río Guayllabamba Periodo 2013-2019.....	81
Anexo 8 Tabla de Segunda Prueba de Valores Z en la Base de Datos de Parámetros Fisicoquímicos del Río Guayllabamba Periodo 2013-2019	82
Anexo 9 Tabla de Tercera Prueba de Valores Z en la Base de Datos de Parámetros Fisicoquímicos del Río Guayllabamba Periodo 2013-2019	83
Anexo 10 Tabla de Cuarta Prueba de Valores Z Sin Datos Atípicos en la Base de Datos de Parámetros Fisicoquímicos del Río Guayllabamba Periodo 2013-2019	84
Anexo 11 Base de Datos inicial de Serie de Tiempo Periodo 2016-2019.....	85
Anexo 12 Códigos R Para Método de Imputación de Llenado de Datos en la Base de Serie de Tiempo.....	87
Anexo 13 Curvas de Doble Masa.....	88
Anexo 14 Base de Datos Completa de Serie de Tiempo y Prueba de Valores Z Periodo 2016-2019	90
Anexo 15 Tabla de Serie de Tiempo Segunda Prueba de Valores Z Sin datos Atípicos en el Parámetro Demanda Química de Oxígeno periodo 2016-2019	92
Anexo 16 Figura de la Ubicación de la Estación Meteorológica	94
Anexo 17 Cálculo del ISQA Mensual y Anual del río Guayllabamba en el Periodo 2013-2019	95
Anexo 18 Calculo del ISQA en la Época Lluviosa del Río Guayllabamba Periodo 2013-2019	97
Anexo 19 Calculo del ISQA en la Época Seca del Río Guayllabamba Periodo 2013-2019 ..	98
Anexo 20 Método Matemático de Descomposición de Series de Tiempo	99
Anexo 21 Calculo del ISQA Mensual del Río Guayllabamba Periodo 2016-2024.....	120

Anexo 22 Calculo del ISQA Anual del Río Guayllabamba Periodo 2020-2024.....	125
Anexo 23 Calculo del ISQA del Río Guayllabamba en Época Lluviosa periodo 2020-2024	127
Anexo 24 Calculo del ISQA del Río Guayllabamba en Época Seca Periodo 2020-2024... ..	129

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Índices de Calidad de Agua.....	24
Tabla 2 Toma y Conservación de Muestras de Agua.....	33
Tabla 3 Métodos de Análisis de Parámetros Analizados In Situ y Laboratorio.....	33
Tabla 4 Estadísticos Descriptivos de los Parámetros Físicoquímicos del Río Guayllabamba	35
Tabla 5 Estadísticos Descriptivos de Parámetros Físicoquímicos de la Base de Datos Inicial de la Serie de Tiempo.....	38
Tabla 6 Ecuaciones de Cálculo de los Parámetros Físicoquímicos para el ISQA.....	41
Tabla 7 Clasificación de la Calidad de Agua del ISQA	42
Tabla 8 Base de Datos de Parámetros Físicoquímicos Para el Cálculo del ISQA del Río Guayllabamba	44
Tabla 9 Estadísticos Descriptivos de la Base de Datos Definitiva Periodo 2013-2019	45
Tabla 10 Calidad del Agua del Río Guayllabamba Según los Resultados del ISQA.....	54
Tabla 11 Calidad del Agua del Río Guayllabamba Según los Resultados del ISQA Para la Época Lluviosa en el Periodo 2013-2019	55
Tabla 12 Calidad del Agua del Río Guayllabamba Según los Resultados del ISQA Para la Época Seca en el Periodo 2013-2019	55
Tabla 13 Base de Datos de la Serie de Tiempo de los Parámetros Físicoquímicos del Río Guayllabamba Periodo 2016-2019	56
Tabla 14 Estadísticos Descriptivos de la Base de Datos de la Serie de Tiempo	57
Tabla 15 Cálculo de los Errores del Pronóstico de la Calidad de Agua del Río Guayllabamba	63
Tabla 16 Calidad del Agua del Río Guayllabamba Según ISQA Para el Periodo 2020-2024	64
Tabla 17 Calidad del Agua del Río Guayllabamba Según ISQA Para el Periodo 2020-2024 en Época Lluviosa.....	64
Tabla 18 Calidad del Agua del Río Guayllabamba Según ISQA Para el Periodo 2016-2024 en Época Seca	64

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación del Río Guayllabamba	10
Figura 2 Ubicación de la Zona de Estudio	31
Figura 3 Boxplot de los Parámetros Físicoquímicos del Río Guayllabamba del Periodo 2013 - 2019	36
Figura 4 Histogramas de los Parámetros Físicoquímicos del Río Guayllabamba del Periodo 2013 - 2019.....	37
Figura 5 Histogramas de Frecuencias de la Base de Datos Inicial de la Serie de Tiempo Periodo 2016-2019.....	39
Figura 6 Boxplot Sin Valores Atípicos de la Base de Datos Para el Cálculo del ISQA Periodo 2013-2019.....	46
Figura 7 Histogramas de Frecuencia Sin Valores Atípicos de la Base de Datos Para el Cálculo del ISQA Periodo 2013-2019.....	47
Figura 8 Régimen pluviométrico de la Estación Tomalon Tabacundo en el periodo 2013-2019	48
Figura 9 Precipitación Media Mensual de la Estación Tomalon Tabacundo en el periodo 2013-2019	49
Figura 10 Temperatura Media Mensual de la Estación Tomalon Tabacundo en el Periodo 2013-2019	49
Figura 11 Evaporación Media Mensual de la Estación Tomalon Tabacundo en el Periodo 2013-2019	50
Figura 12 Variación de la Temperatura del Río Guayllabamba del periodo 2013-2019	51
Figura 13 Variación de la Demanda Química de Oxígeno del río Guayllabamba periodo 2013-2019	51
Figura 14 Variación de los Sólidos Suspendidos Totales del río Guayllabamba periodo 2013-2019	52
Figura 15 Variación del Oxígeno Disuelto del río Guayllabamba periodo 2013-2019	53
Figura 16 Variación del Conductividad Eléctrica del río Guayllabamba del periodo 2013-2019	53
Figura 17 Variación de Temperatura del Río Guayllabamba Para el Periodo 2020-2024.....	58

Figura 18 Variación de Demanda Química de Oxígeno del Río Guayllabamba Para el Periodo 2020-2024.....	59
Figura 19 Variación de Sólidos Suspendidos Totales del Río Guayllabamba Para el Periodo 2020-2024	60
Figura 20 Variación de Oxígeno Disuelto del Río Guayllabamba Para el Periodo 2020-2024	61
Figura 21 Variación de Conductividad Eléctrica del Río Guayllabamba Para el Periodo 2020-2024	62

1. INFORMACIÓN GENERAL

Número de Estudio de Caso: 1

Título del Estudio de Caso:

Estudio de la calidad del agua del río Guayllabamba, ubicado dentro del Distrito Metropolitano de Quito en el periodo 2013-2019.

Fecha de inicio: Mayo 2020

Fecha de finalización: Septiembre 2020

Lugar de ejecución: Pichincha, Distrito Metropolitano de Quito, Río Guayllabamba

Facultad que auspicia:

Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales

Carrera que auspicia:

Ingeniería en Medio Ambiente

Equipo de Trabajo:

Tutor: MSc. Ruiz Depablos Joseline Luisa

Autor: Iza Quispe Gloria Germania

Área de Conocimiento: Servicios (Protección del medio ambiente)

Línea de investigación: Análisis, conservación y aprovechamiento de la biodiversidad local

Sub líneas de investigación de la Carrera: Manejo y conservación del recurso hídrico

Línea de vinculación: Gestión de recursos naturales, biodiversidad, biotecnología y genética, para el desarrollo humano y social

2. INTRODUCCIÓN

Los antecedentes de este estudio se dieron por lo expuesto en el artículo 21 del Reglamento de Trabajo de Titulación de Posgrados de la Universidad Técnica de Cotopaxi, correspondientes a la línea de investigación: Gestión de recursos naturales, biodiversidad, biotecnología y genética, para el desarrollo humano y social.

“El recurso hídrico es una fuente de vida debido a la función esencial que cumple en los procesos biológicos y su importancia como elemento fundamental de desarrollo social, económico y ambiental” (Bolaños, 2017).

Según Enamorado y Navarro (2017) el agua:

Cubre el 71 % de la superficie de la corteza terrestre, se localiza principalmente en los océanos donde se concentra el 96,5 %, los glaciares casquetes polares poseen el 1,74 %, los depósitos subterráneos (acuíferos), mientras que los permafrost y los glaciares continentales almacenan el 1,72 % y el restante 0,04 % se divide entre ríos, lagos, humedad del suelo, atmósfera, embalses y seres vivos.

“En consecuencia, solo un pequeño porcentaje del agua es empleado para diversas actividades como consumo humano, sector industrial, riego, recreación, entre otros, que conlleva a que el agua se convierta en un recurso crucial para la humanidad y seres vivos” (CNDH, 2018).

Diariamente se incrementa la demanda del uso del agua en el mundo, como lo manifiesta la ONU (2019):

A nivel mundial aproximadamente un 1% por año ha ido aumentando desde la década de 1980, este aumento constante debido principalmente a la creciente demanda en los países en desarrollo impulsados por una combinación de crecimiento poblacional, desarrollo socioeconómico y patrones de consumo en evolución.

La agricultura (incluida la irrigación, la ganadería y la acuicultura) es, con mucho, el mayor consumidor de agua, dado que representa el 69% de las extracciones anuales de agua a nivel global. La industria (incluyendo la generación de energía) representa el 19%, y los hogares el 12%. En este sentido este recurso debe ser gestionado y protegido por el valor que representa para la vida tanto para las generaciones futuras como la nuestra (ONU, 2019).

Según estudios realizados por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) pronostican que para el año 2025:

“Dos tercios de la población mundial podrían estar viviendo en países con estrés hídrico, debido en gran parte al descontrolado crecimiento poblacional, es por eso que las fuentes de agua se han visto disminuidas y contaminadas” (FAO, 2019).

Los problemas de calidad del agua persisten tanto en los países desarrollados como en los países en desarrollo, e incluyen la pérdida de cuerpos de agua de calidad óptima, los impactos asociados con los cambios en la hidromorfología, el aumento de contaminantes emergentes y la propagación de especies invasoras (ONU, 2019).

La mala calidad del agua afecta directamente a las personas que dependen de estas fuentes como su principal suministro, limitando aún más su acceso al agua (es decir, la disponibilidad de agua) y aumentando los riesgos para la salud relacionados con el agua (sin mencionar su calidad de vida en general) (ONU, 2019).

Varias enfermedades relacionadas con el agua, incluyendo el cólera y la esquistosomiasis, siguen siendo frecuentes en muchos países en desarrollo, donde solo una fracción muy pequeña (en algunos casos menos del 5%) de las aguas residuales domésticas y urbanas se tratan antes de su liberación al medio ambiente(ONU, 2019).

El Ecuador posee una significativa red hidrográfica originada en la cordillera de los Andes que desembocan en el río Amazonas y el océano Pacífico. Sin embargo, en la actualidad la mayoría de sus ríos presentan grandes impactos:

Causados por distintas actividades industriales y aguas servidas que se descargan desde las ciudades sin ningún tratamiento, son las mayores fuentes de contaminación de los recursos hídricos, a esto se añade la convivencia con animales de pastoreo junto a las fuentes y a prácticas inadecuadas de uso, que provocan también contaminación a pequeña escala (Isch, 2011). “Las actividades productivas de más fuerte impacto contaminante son la minera, petrolera, la industrial y la agroindustrial, por el excesivo uso de agro tóxicos” (Isch, 2011).

“Además, según datos de la Secretaria Nacional del agua (SENAGUA) aproximadamente solo el 12 % de las aguas residuales a nivel nacional son tratadas, lo que ha provocado el deterioro de calidad y de ecosistemas acuáticos” (Bonifaz, 2018).

“El río Guayllabamba es uno de los ríos del Ecuador que atraviesa problemas de contaminación por la falta de tratamiento de residuos urbanos, industriales y agropecuarios que aportan grandes contaminantes a su cauce” (Quinga, 2017) .

Por esta razón, es necesario implementar herramientas que permitan identificar la calidad del agua del río Guayllabamba, como los llamados índices de calidad de Agua (ICA):

Los cuales son herramientas que permite diagnosticar la calidad del agua de un cuerpo superficial o subterráneo en un tiempo definido. En general, el ICA incorpora datos de múltiples parámetros fisicoquímicos y biológicos, en una ecuación matemática, mediante la cual se evalúa el estado del vital líquido (Caho y López, 2017).

“Esta herramienta surge como una alternativa para la evaluación de los cuerpos hídricos permitiendo que los procesos de formulación de políticas públicas y seguimientos de los impactos sean más eficaces” (Torres *et al.*, 2009).

La mayoría de autores concuerdan en utilizar parámetros fisicoquímicos (potencial de hidrogeno, oxígeno disuelto y temperatura) y parámetros biológicos - bacteriológicos (Demanda Bioquímica de Oxígeno y Coliformes fecales y totales). La diferencia entre una y otra radica en la forma de calcularse y en los parámetros que se tienen en cuenta en la formulación del índice respectivo (Caho y López, 2017).

Para la investigación se optó por utilizar información de fuentes primarias, donde se obtuvo una base de datos del periodo 2013-2019 de parámetros fisicoquímicos y biológicos de la Red Metropolitana de Monitoreo del Recurso Hídrico de la secretaria del Ambiente del Distrito Metropolitano de Quito del punto de monitoreo ubicado en el río Guayllabamba con coordenadas 751013.75 de longitud y 10026400.78 de latitud.

La selección de la metodología se realizó mediante una revisión bibliográfica previa de los diferentes índices de calidad, en donde se escogió la que mejor se ajustaba con los parámetros de la base de datos de la secretaria del ambiente de Quito, siendo el Índice Simplificado de calidad de Agua (ISQA) con el cual se evaluara la calidad del agua del río Guayllabamba, dicho índice fue desarrollado:

En España por Queralt en el año de 1982, el cual se basa en 5 parámetros fisicoquímicos (Temperatura, Demanda química de oxígeno, Sólidos suspendidos totales, Oxígeno disuelto y Conductividad) y plantea una clasificación de calidad del agua para uso de consumo humano, riego, industrial, recreación y refrigeración (Torres *et al.*, 2009).

“El índice simplificado de calidad del agua tiene la ventaja de ser fácil de usar y proporciona una idea rápida e intuitiva de la calidad” (Terán, 2019). Sin embargo, es un índice que debe ser complementado, es por eso que también se analizará la variación de calidad mediante un modelo matemático con proyección de 5 años, de esta forma este estudio sustentará futuras investigaciones que analicen la calidad de agua del río Guayllabamba ya sea con igual o diferente metodología, correlacionando resultados.

Las principales limitaciones de este estudio son las siguientes: se tiene una base de datos solo con un punto de muestreo e insuficientes parámetros para adicionar análisis con un diferente índice de calidad de agua.

3. PROPÓSITO

La investigación pretende evaluar la calidad del agua en el punto de monitoreo del río Guayllabamba de la Secretaría del Ambiente, ubicado dentro del Distrito Metropolitano de Quito en el periodo 2013-2019 mediante la metodología del Índice Simplificado de Calidad de Agua (ISQA) que conlleva el análisis de parámetros fisicoquímicos: Temperatura, Demanda química de oxígeno, Sólidos suspendidos totales, Oxígeno disuelto y Conductividad, así como también aplicar un modelo matemático para estimar la calidad del agua en un plazo de tiempo de 5 años. Así, el presente estudio proporcionará información indispensable para conocer el estado de calidad del agua de dicho río, del mismo modo que puede ser de ayuda en la elaboración del plan de calidad del recurso agua contenido en el plan distrital desarrollado por la Secretaria del Ambiente del Municipio del Distrito Metropolitano de Quito.

4. JUSTIFICACIÓN

“La alteración de la calidad del recurso hídrico se ha convertido en un motivo de preocupación a nivel mundial, por ser el agua un recurso natural esencial para la vida en el planeta” (ONU-DAES, 2014).

Su calidad se ve afectada por la presencia de agentes contaminantes químicos, orgánicos, inorgánicos, metales pesados, los organofosforados, carbonatos y patógenos microbianos generados principalmente por el crecimiento de la población humana, la expansión de la actividad industrial, agrícola, minería, entre otras. Los mismos que generan problemas a la salud de los seres vivos y disminución de la biodiversidad de un ecosistema (ONU-DAES, 2014).

La calidad del agua depende del uso a la cual sea empleada, bien sea para fines domésticos, industriales y agrícolas. En la última década se ha notado un impacto notable del hombre en el medio ambiente debido al aumento sin precedentes de la población y la rápida tasa de urbanización, así como a la intensificación del uso de ecosistemas frágiles (Akoteyon et al., 2011). Esto ha llevado a la degradación progresiva y continua de los recursos, especialmente las aguas superficiales. El agua contaminada es un precursor importante para la propagación de enfermedades. En los países en desarrollo, alrededor de 1,8 millones de personas, en su mayoría niños, mueren cada año como resultado de enfermedades relacionadas con el agua (Akoteyon *et al*, 2011).

Investigaciones demuestran que la calidad de los ríos del Distrito Metropolitano de Quito sufre un proceso de deterioro debido, fundamentalmente a que no se dispone de un servicio de tratamiento de aguas residuales y apenas el 1% de las aguas residuales son tratadas por la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento de Quito (EPMAPS) (MDMQ, 2014). Situación que impide mejorar la calidad de vida de sus moradores y la recuperación de ecosistemas.

Como lo menciona la Secretaría del Ambiente (2016) el recurso hídrico de Quito se ve alterado por:

Los asentamientos de viviendas, depósitos de descargas domésticas e industriales, mala disposición de desechos y escombros, la existencia de actividades agrícolas, el acarreo natural de sedimentos, así como los generados por la explotación de canteras y la inestabilidad de los taludes que bordean los cauces.

Uno de los ríos de mayor importancia en la provincia de Pichincha es el río Guayllabamba, el cual forma parte de la subcuenca del mismo nombre, nace de las vertientes del Cotopaxi, Sincholagua y Rumiñahui, con sus afluentes: San Pedro, Pita y Pisque, fluye hacia la costa, desembocando en el río Esmeraldas y posteriormente al Océano Pacífico (Quinga, 2017).

Se conoce que en la subcuenca del río Guayllabamba se desarrollan las principales actividades productivas de los habitantes asentados en el Distrito Metropolitano de Quito, lo cual incluye industria, agricultura, ganadería y generación de energía hidroeléctrica. Siendo así un área densamente poblada, que afronta problemas por usos de agua y procesos de contaminación hídrica (Bonifaz, 2018).

Es así que la calidad del agua del río Guayllabamba se encuentra afectada por la contaminación, debido al crecimiento acelerado de la población y de la ciudad, convirtiéndolo en un depositario de aguas servidas, residuos químicos, desechos tóxicos y domésticos, provenientes de actividades industriales, pecuarios y domésticos, lo que ha generado impactos al ambiente y a la salud de los seres pobladores (Quinga, 2017).

Por lo tanto, el interés de este estudio de investigación es dar a conocer la calidad del agua del río Guayllabamba en el periodo 2013-2019, así como también pronosticar su calidad en un plazo de 5 años mediante la aplicación de un modelo matemático, que permitirá saber el tipo de uso de agua para la cual es apta, asegurando el bienestar de la población que utiliza el agua del río para sus actividades.

5. PREGUNTAS DE REFLEXIÓN

¿Cómo será la variación de los parámetros fisicoquímicos: temperatura, demanda química de oxígeno, sólidos suspendidos totales, oxígeno disuelto y conductividad del río Guayllabamba en el periodo 2013-2019?

Los parámetros fisicoquímicos del río Guayllabamba en el periodo 2013-2019 presentan los siguientes valores: la temperatura oscilo entre 19,9 - 24,4°C, la demanda química de oxígeno oscilo entre 9,5 - 198 mg/L, los sólidos suspendidos totales oscilaron entre 50 - 437 mg/L, la conductividad eléctrica oscilo entre 191,78 - 355,18 uS/cm y el oxígeno disuelto oscilo entre 7,15 - 9,56 mg/L. Según este análisis se evidencio que los parámetros: demanda química de oxígeno y solidos suspendidos totales tuvieron una variación de concentración alta debido principalmente a las descargas de aguas residuales sin tratamiento al recurso hídrico.

¿Cómo será la variación del ISQA del río Guayllabamba en el periodo 2013-2019?

Los valores del ISQA calculados para el río Guayllabamba variaron de 40,60 para el año 2013; 50,82 para el año 2016; 39,12 para el año 2018 y 43,21 para el año 2019. Dichos valores de ISQA para los años 2013,2018 y 2019 representan una calidad de agua mala, sin embargo el año 2016 ingresa en el rango de 50 a 70 que indica una calidad regular pero según su valor de ISQA no es una diferencia de calidad significativa a la de los demás años, existen pocos estudios realizados sobre la calidad del agua del Río Guayllabamba en los que se menciona que existe contaminación por ser el receptor de las aguas de ríos como San Pedro, Monjas, Machángara entre otros, ríos que presentan contaminación por aguas servidas domesticas e industriales. Es

por ello que se debería realizar estudios a profundidad de la calidad del río Guayllabamba y poder proponer alternativas de mitigación.

¿Cuál será el uso apto para el agua del río Guayllabamba?

El uso apto del agua del río Guayllabamba es la de recreación por contacto indirecto, refrigeración y riego para cultivos resistentes. La población del DMQ emplea las aguas del río para riego de cultivos de verduras y hortalizas como lo menciona Salange (2019), sin embargo lo más recomendable es utilizar el agua para el riego de árboles por ser cultivos resistentes a la salinidad.

¿Cuál será la calidad del agua del río Guayllabamba en un plazo de 5 años?

La calidad del agua para el río Guayllabamba dentro de 5 años correspondiente al período 2020-2024 según los resultados del pronóstico indican que tendrá una calidad mala. La importancia de este pronóstico radica en tener un escenario a futuro sobre la calidad del río y por ende pensar en programas de descontaminación, uno de ellos es el que plantea el municipio de Quito como lo es el proyecto Vindobona que consiste en la creación de una planta de tratamiento de aguas residuales para los principales ríos del DMQ, sin embargo, se puede optar por alternativas que impliquen menores costos como la fitorremediación que se basa en la capacidad de algunas plantas para eliminar contaminantes, en la actualidad se ha tenido resultados viables (Del Pezo, 2019), uno de ellos es el estudio realizado por Zimmels *et al* (2006) en donde implementaron fitorremediación con micrófitas como el Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) y la lechuga de agua (*Pistia stratiotes*) para aguas residuales donde obtuvieron como resultado una reducción de concentraciones de DBO, DQO, SST y turbidez ya que fueron los parámetros que consideraron.

6. UNIDAD DE ANÁLISIS QUE DELIMITARÁ LA FRONTERA DEL CASO

El Distrito Metropolitano de Quito es la capital del Ecuador está ubicado en la sierra norte del país, tiene un área total de 423.812 hectáreas, ocupando el 44% del territorio de la provincia de Pichincha. Su altitud oscila entre los 1800 msnm en lugares llanos como el sector de Guayllabamba y 4696 msnm en elevaciones como el volcán Rucu Pichincha, por lo que existe una variedad de pisos climáticos predominando el clima subtropical de tierras altas y 17 ecosistemas naturales (Pozo, 2013). Dentro del DMQ también se encuentra la Reserva Geobotánica Pululahua que es parte del Sistema Nacional de Área Protegidas del Ecuador. Su cobertura vegetal alcanza 2/3 del territorio del Distrito, con

una predominancia de bosques húmedos, mientras que las áreas edificadas son el 11,1% y el área de cultivos constituyen el 28,2%. Cuenta con 65 parroquias, 33 rurales y 32 urbanas (Pozo, 2013).

De acuerdo a cifras oficiales del Instituto Ecuatoriano de Estadísticas y Censos (INEC,2010), el DMQ en el año 2010 contaba con un total de 2239.191 habitantes los cuales el 1619.146 habitantes representaban el 72 % de la población urbana y 620.05 habitantes que correspondían al 28% de la población rural. Por parte del INEC se han realizado proyecciones para el año 2020 y se espera que Quito sea el cantón más poblado del país con 2781.641 habitantes (Pozo, 2013).

“Los recursos hídricos disponibles para el DMQ están constituidos por las aguas superficiales de la cuenca alta del río Esmeraldas, aguas subterráneas (acuíferos de Quito) y los trasvases de las subcuencas orientales”(Echanique, 2008).

Según Echanique (2008): “el DMQ se ubica en la subcuenca hidrográfica del río Guayllabamba y su sistema hídrico está formado por los ríos de alta montaña, entre los principales ríos del cantón se encuentran”:

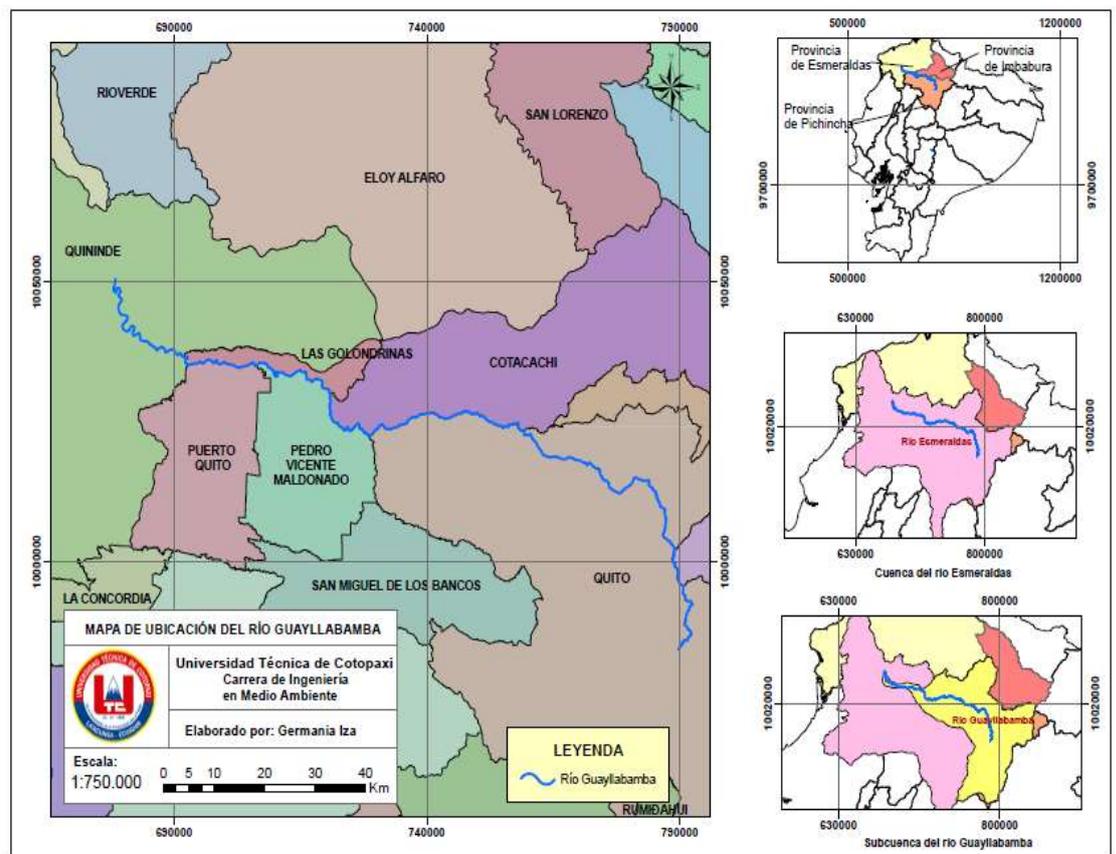
- San Pedro: inicia a los 2.760 msnm y concluye en la confluencia con el río Machángara, a 2.080 msnm.
- Machángara: inicia a los 2.180 msnm y está nutrido por varias quebradas del sur de Quito; este río es el principal receptor de las descargas de aguas residuales del sur y centro de la ciudad.
- Guayllabamba: se forma a los 2.080 msnm por la confluencia de los ríos San Pedro y Machángara; otros afluentes importantes son los ríos Chiche, Guambi, Urvia, Coyago, Pisque y Monjas.
- Monjas: inicia los 2.470 msnm y converge con el río Guayllabamba a los 1.655 msnm. Este río recibe las aguas residuales del sector norte de la ciudad.

El río Guayllabamba se localiza entre las provincias de Pichincha, Imbabura y Esmeraldas, entre los cantones Quito, Cotacachi, Pedro Vicente Maldonado, Puerto Quito, las Golondrinas y Quinindé, con sus coordenadas geográficas: -79.3973800 de longitud y 0.4561400 de latitud, con una extensión aproximada de 264.31 km forma parte de la subcuenca del río Guayllabamba la misma que pertenece a la cuenca del río Esmeraldas (Muzo, 2017). El río Guayllabamba nace de las vertientes del Cotopaxi,

Sincholagua y Rumiñahui, tomando el nombre de río Pita, donde recibe las aguas del río San Pedro que atraviesa el valle de Tumbaco. Más adelante el río San Pedro se enriquece con aguas de cauces menores para posteriormente tomar el nombre de río Guayllabamba y continúa su curso hasta unirse con el río Esmeraldas que desemboca en el Océano Pacífico (ver Figura 1) (Muzo, 2017).

Figura 1

Ubicación del Río Guayllabamba



Elaborado por: Germanía Iza

La unidad de análisis de este estudio será el Río Guayllabamba ubicado dentro del Distrito Metropolitano de Quito con el fin de evaluar la calidad del agua mediante la aplicación del índice simplificado de calidad de agua con el análisis de parámetros fisicoquímicos obtenidos de la base de datos de la red metropolitana de monitoreo del recurso hídrico de la secretaria del ambiente en el periodo 2013-2019 y aplicar un modelo matemático para la estimación de la calidad del agua dentro de un plazo de 5 años.

7. FUNDAMENTOS TEÓRICOS METODOLÓGICOS

7.1. Recurso hídrico

El agua es una sustancia formada por dos átomos de hidrogeno y uno de oxígeno (H₂O), recurso natural renovable, cuyo cuidado es importante para las generaciones futuras, indispensable para la existencia de todas las formas conocidas de vida, convirtiéndose su distribución y uso, en un derecho humano fundamental que debe ser estudiado con frecuencia a fin de darle garantía a la población para que este derecho no sea vulnerado (Enamorado y Navarro, 2017).

“El agua es considerada como uno de los recursos naturales fundamentales para el desarrollo de la vida, y junto con el aire, la tierra y la energía, constituye los cuatro recursos básicos en que se apoya el desarrollo” (Hernández, 2015).

El agua en nuestro planeta se encuentra en forma líquida, sólida y gaseosa. El total de agua en la Tierra se estima en unos 1.400 millones de km³, de los cuáles un 3% del total corresponde a agua dulce. La provisión global de agua en la Tierra está sometida al denominado "Ciclo Hidrológico" (Galvín, 2008).

7.1.1. Ciclo hidrológico

“El ciclo hidrológico representa la fuente básica de agua para todos los usos y es esencial para mantener la vida. El ciclo Hidrológico puede ser visualizado como una permanente rotación del agua del océano en tierras secas” (Sabio, 2000).

Las aguas naturales forman parte de un ciclo continuo, la humedad que se evapora de los océanos y otras superficies de agua es la precipitada a su vez en forma de lluvia, nieve y granizo, parte de esta precipitación regresa a las superficies de agua y cierta cantidad cae sobre la tierra (Sabio, 2000). De esta última, una parte es empleada por la vegetación, algo de esta se evapora, y otra parte corre hacia los océanos por conducto de corrientes de agua y lagos y el resto de la precipitación penetra en la tierra, el almacenamiento del agua en el suelo para el suministro se realiza mediante la intersección de corrientes de superficie o por la captación del agua que se ha infiltrado en la tierra (Sabio, 2000).

7.1.2. Fuentes de agua

Las principales fuentes de agua para el consumo humano y animal son los lagos, ríos, humedad del suelo y las cuencas de agua subterráneas relativamente poco profundas. Existen diferentes fuentes de agua y cada una de ellas requieren tratamientos diferentes

para hacerla apta para el uso humano, entre las principales se encuentran (Mancheno, 2015)

7.1.2.1. Aguas subterráneas

Son aquellas que se han filtrado desde la superficie de la tierra hacia los poros del suelo, las formaciones del suelo y roca que se han saturado de líquido se conocen como depósitos de agua subterránea o acuíferos. Estas fuentes de agua son las más apropiadas, por lo que no son tan susceptibles a la contaminación como las aguas de la superficie (Mancheno, 2015).

7.1.2.2. Aguas superficiales

“Las de ríos y lagos son fuentes importantes de abastecimiento de aguas públicas en virtud de las altas tasas de extracción que soportan normalmente” (Mancheno, 2015).

7.1.2.3. Aguas de mar

“Está disponible en cantidad casi ilimitada, se puede transformar en agua dulce por diversos procesos. No obstante, los costos de conversión son quizás de dos a cinco veces más altos que los del tratamiento del agua dulce” (Mancheno, 2015).

7.1.3. Contaminación del agua

“Es el daño o alteración del agua por efecto de productos extraños, introducidos de forma directa o indirecta en los acuíferos o cauces de agua (ríos, mares, lagos, etc.) de diversas sustancias que pueden ser consideradas como contaminantes” (Astudillo, 2016).

7.1.3.1. Tipos de contaminación

Muchos de estos contaminantes llegan a los recursos superficiales y subterráneos como consecuencia de fenómenos muy generalizados de escorrentía y percolación. La contaminación es clasificada en tipos dependiendo si se conoce o no la ubicación del foco de infección, de acuerdo con esto hay dos tipos de contaminación (Sabio, 2000).

Contaminación puntual es aquella en la cual se conoce la fuente o el sitio donde se genera la contaminación. La Contaminación no puntual es aquella en la cual no se conoce con exactitud donde se genera la contaminación, ya que proviene de fuentes muy dispersas (Sabio, 2000).

7.1.3.2. Fuentes de contaminación hídrica

“Las fuentes de contaminación hídrica son antropogénicas y naturales. Pueden ser de origen físico, químico y biológico, su nivel de contaminación depende de la cantidad,

concentración, tipo y procedencia de los elementos perjudiciales vertidos al agua” (Campaña y Gualoto, 2015).

7.1.3.2.1. Fuentes antropogénicas

Es aquella originada por la acción del ser humano, el desarrollo y la industrialización suponen un mayor uso de agua, una gran generación de residuos, muchos de los cuales van a parar al agua y el uso de medios de transportes fluviales y marítimos que, en muchas ocasiones, son causa de contaminación de las aguas (Peña, 2019).

Las actividades agrícolas y ganaderas pueden producir contaminación muy grave de las aguas de los ríos y los acuíferos. Primordialmente por los vertidos de aguas cargadas de residuos orgánicos, procedentes de las labores de transformación de productos vegetales, o de los excrementos de los animales (Peña, 2019).

El sector industrial como, la siderurgia, textil y papelera, requieren del uso del agua para desarrollar sus actividad, pero se tiene como consecuencia el vertido de aguas residuales cargadas de materia orgánica, metales, aceites industriales e incluso radiactividad, existen sistemas de depuración que sirven para devolverles las características físicas y químicas originales del recurso y evitar los problemas que pueden causar los contaminantes de las aguas residuales (Peña, 2019).

7.1.3.2.2. Fuentes Naturales

La calidad del agua superficial y subterránea también puede verse afectada por los eventos naturales, por ejemplo, las fuerzas naturales tales como precipitaciones, cambios estacionales, condiciones de evaporación cambios en el flujo de corriente de agua y aire, derrumbes, sismos, deslaves y erupciones volcánicas. Elementos como el cadmio y el plomo que se encuentran de manera natural son perjudiciales para la salud de los humanos inclusive en concentraciones bajas (Campaña y Gualoto, 2015).

7.1.4. Calidad de agua

La calidad del recurso hídrico es un término usado para describir las características químicas, físicas y biológicas del agua, la calidad del agua depende del uso que se le da a la misma, se ve afectada por varios factores como, la producción industrial y agrícola, usos del suelo y el tratamiento que se le da antes de ser vertida nuevamente a los cuerpos de agua. Su capacidad de purificación depende de la cantidad misma del agua de los ríos

y lagos, entonces para conocer la calidad del agua se debe especificar el uso que se le dará y con ello decidir si es apta o no (Álvarez *et al.*, 2008).

7.1.4.1. Clasificación del agua por su uso

Para Saravia (2016) el uso del agua se clasifica de la siguiente manera:

- **Agua para consumo humano:** aquellas que se emplean para beber y elaborar los alimentos.
- **Agua agrícola:** se utiliza para el riego de campos agrícolas.
- **Agua para generación de energía:** se emplean para generar energía eléctrica y mecánica, mediante el uso de motores y generadores.
- **Agua industrial:** se emplean en la industria, en calderas, operaciones de limpieza, operaciones de enfriamiento, entre otros.
- **Agua para recreación:** el hombre encuentra en el agua un medio de esparcimiento y diversión como nadar, navegar, entre otros.

7.1.4.2. Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos

“Para evaluar la calidad del agua, es necesario estimar la medida de ciertos parámetros en situación real. La calidad de diferentes tipos de agua se ha valorado a partir de variables físicas, químicas y biológicas, evaluadas individualmente o grupal” (Samboni *et al.*, 2007).

Los parámetros fisicoquímicos aportan información extensa de las propiedades químicas y físicas del agua, sin contribuir información de su influencia en la vida acuática; los métodos biológicos aportan esta información, pero no mencionan nada acerca del contaminante o los contaminantes responsables, por lo que muchos investigadores recomiendan la utilización de ambos en la evaluación del recurso hídrico (Samboni *et al.*, 2007).

7.1.4.2.1. Parámetros físicos

Aquellos que pueden ser apreciables por los sentidos y tienen incidencia directa sobre las condiciones estéticas y la aceptabilidad del agua. Dentro de las características físicas del agua podemos encontrar las siguientes: turbidez, sólidos disueltos, sólidos suspendidos, color, olor, sabor, temperatura y conductividad eléctrica (Ajcagul, 2016).

7.1.4.2.1.1. Turbidez

Se define como la propiedad óptica de una suspensión que hace que la luz se disperse y no se transmita a través de la suspensión, ésta se relaciona más bien con la concentración

de los materiales en suspensión en la columna de agua (como sedimentos, microorganismos, jabón, etc.), que atenúan y absorben la luz incidente de sedimentos y genera un aumento de la reflectividad en el rango del espectro visible (Martinez, 2006).

7.1.4.2.1.2.Sólidos disueltos

Los sólidos totales disueltos son moléculas e iones, que se encuentran diluidos en el agua. La concentración de sólidos disueltos en el agua se debe a la presencia de minerales, gases producto de descomposición de materia orgánica, metales y compuestos químicos orgánicos que dan olor, color, sabor y eventualmente toxicidad al agua que los contiene (Toasa, 2012).

7.1.4.2.1.3.Sólidos suspendidos

Los sólidos sedimentables son sólidos suspendidos que se sedimentan por acción de la gravedad, dentro de un tiempo específico. Los sólidos suspendidos están compuestos por partículas orgánicas e inorgánicas que se encuentran en suspensión el agua. Las fibras de plantas, células de algas, bacterias, protozoarios y sólidos biológicos se consideran partículas orgánicas. Por otra parte, arcilla, arena y sales son elementos considerados como partículas inorgánicas (Toasa, 2012).

7.1.4.2.1.4.Color

“El color como una de las propiedades organolépticas del agua es afectado por la presencia de material disuelto, suspendido o coloidal, constituye un aspecto importante en términos de consideraciones estéticas” (Martínez y Osorio, 2018).

7.1.4.2.1.5.Olor y sabor

“Estas son características estrechamente relacionadas y son el principal motivo de rechazo por parte del consumidor. Los olores y sabores cambian cuando existe presencia de la materia orgánica, hierro, manganeso fenoles, aceites, sulfatos de sodio, productos de cloro, hongos, etc.” (Ajcabul, 2016).

7.1.4.2.1.6.Temperatura

“La temperatura del agua se establece por la absorción de radiación en las capas superiores del líquido. Su variación afectan a la solubilidad de sales y gases en agua y en general a todas sus propiedades, tanto químicas como microbiología” (Galvín, 2008).

7.1.4.2.1.7. Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica (CE) del agua es una medida de la capacidad de la misma para transportar la corriente eléctrica, se reportan en microsiemens/cm ($\mu\text{S}/\text{cm}$). La conductividad del agua está relacionada con la concentración de las sales en disolución, cuya disociación genera iones capaces de transportar la corriente eléctrica. La solubilidad de las sales en el agua depende de la temperatura, por lo que la conductividad varía en conformidad con la temperatura del agua (Solís, 2018).

7.1.4.2.2. Parámetros químicos

Por sus características fisicoquímicas se denomina al agua como un solvente universal ya que los parámetros químicos están relacionados con la capacidad del agua, para disolver diversas sustancias y se puede mencionar las siguiente: alcalinidad, dureza, pH, cantidad de oxígeno para oxidar materia orgánica e inorgánica, materias orgánicas y nutriente, entre otras (Ajcabul, 2016).

7.1.4.2.2.1. Potencial de Hidrogeno

Potencial de Hidrogeno (pH) es la concentración relativa de los iones de hidrógeno en el agua, e indica si ésta actuará como un ácido débil, o si se comportará como una solución alcalina. La actividad del ion hidrógeno puede alterar directa o indirectamente la actividad de los otros constituyentes que se encuentran en el agua, la medida del pH constituye un parámetro de importancia para la descripción de los sistemas biológicos y químicos de las aguas naturales (Jaya, 2017).

7.1.4.2.2.2. Dureza

La dureza del agua constituye una medida de la cantidad de metales alcalinotérreos presentes en el agua, fundamentalmente calcio (Ca) y magnesio (Mg) provenientes de la disolución de rocas y minerales. Su forma de expresión más conocida es en mg/L como carbonato de calcio (CaCO_3) (Solís *et al.*, 2018).

7.1.4.2.2.3. Oxígeno disuelto

El oxígeno disuelto (OD) es la cantidad de oxígeno gaseoso que esta disuelto en el agua. La mayoría de los organismos vivos acuáticos dependen del OD para su proceso de respiración aeróbica para la generación de energía y para la movilización del carbono en la célula; por eso, desde siempre, se ha considerado como un indicador de la capacidad de un río para mantener la vida acuática (Arroyo *et al.*, 2012).

7.1.4.2.2.4.Demanda Bioquímica de Oxígeno

Determina la concentración de oxígeno necesario por los microorganismos para degradar la materia orgánica existente en una muestra de agua. Este parámetro se determina mediante la prueba de incubación de una muestra sembrado durante 5 días a 20 °C mediante el método Winkler o diferentes métodos manométricos como el método respirométrico (López, 2018).

7.1.4.2.2.5.Demanda química de oxígeno

La Demanda Química de Oxígeno (DQO) determina la cantidad de oxígeno requerido para oxidar la materia orgánica e inorgánica sin que exista la intervención de organismos vivos, es decir, un parámetro analítico de polución que mide la cantidad de material orgánico en una muestra de agua (Rodríguez, 2015).

7.1.4.2.2.6.Nitratos y nitritos

Estos son compuestos solubles conformados molecularmente por nitrógeno y oxígeno. En el ambiente, el nitrito (NO_2^-) generalmente se convierte a nitrato fácilmente (NO_3^-), lo que significa que el nitrito raramente está presente en aguas subterráneas. El nitrato es esencial en el crecimiento de las plantas. Por esta razón su uso predominante es como fertilizante y se produce en grandes cantidades industrialmente (Bolaños *et al.*, 2017).

7.1.4.2.2.7.Fosfatos

El ion fosfato (PO_4^{-3}) se forma a partir del fósforo inorgánico que existe como mineral y contribuye directamente en el ciclo de este elemento en el ambiente. También se puede encontrar en solución como partículas, como fragmentos sueltos o en los cuerpos de organismos acuáticos. El agua de lluvia puede contener distintas cantidades de fosfatos que se filtran de los suelos agrícolas a los cursos de agua próximos (Bolaños *et al.*, 2017).

7.1.4.2.3. Parámetros microbiológicos

“El agua contiene suficientes nutrientes para permitir el desarrollo de diferentes microorganismos ” (Ajcabul, 2016).

7.1.4.2.3.1.Coliformes totales y fecales

Se les considera microorganismos indicadores de contaminación fecal y son excelentes indicadores de la calidad sanitaria del agua y de la eficacia de los procesos de desinfección. Puesto que su presencia es común en el tracto gastrointestinal del hombre

y animales de sangre caliente, se encuentran de forma casi exclusiva y en grandes cantidades en las heces (Campaña y Gualoto, 2015).

Las bacterias del grupo Coliformes pertenece a la familia Enterobacteriaceae que incluye los géneros: *Escherichia*, *Citrobacter*, *Enterobacter* y *Klebsiella*. Se definen como bacilos anaerobios y aerobios facultativos, cortos, Gram negativos, no esporulados, que fermentan la lactosa a 44,5°C. Se los denomina termotolerantes por su capacidad de soportar altas temperaturas (Campaña y Gualoto, 2015).

El deterioro marcado de los cuerpos de agua hace necesaria la evaluación de los mismos con el fin de tomar acciones de control y mitigación, así es como surge una herramienta simple para la evaluación del recurso hídrico, como lo son los índices de calidad del agua (Ajcabul, 2016).

7.2. Índice de calidad de agua

Es apreciado como una herramienta estadística para estimar la calidad de un cuerpo de agua, la valoración de la calidad del agua puede ser entendida como la evaluación de su naturaleza química, física y biológica en relación con la calidad natural, los efectos humanos y usos posibles (Torres *et al.*, 2009). Es un número único que indica la calidad del recurso hídrico mediante la integración de las mediciones de determinados parámetros de calidad del agua y su uso es cada vez más popular para identificar las tendencias integradas a los cambios en la calidad del agua (Torres *et al.*, 2009).

Según Mancera (2017), la formulación de un Índice de Calidad de Agua (ICA) tiene como aspecto común, su cálculo sobre la base de los siguientes 3 pasos consecutivos:

- Selección de Parámetros (usualmente entre 2 y 73 variables).
- Determinación de los valores para cada parámetro: subíndices.
- Determinación del Índice por la incorporación de los subíndices. La determinación del Índice de Calidad de Agua se da por la integración de los subíndices que lo conforman.

Los índices de calidad de agua manifiestan el grado de contaminación del agua a la fecha del muestreo y está expresado como porcentaje del agua pura; así, el agua altamente contaminada tendrá un valor de índice cercano o igual a 0% y el agua en excelentes condiciones tendrá un valor cercano al 100% (Mancera, 2017).

7.2.1. Clasificación de los índices de calidad del agua.

Por facilidad de comprensión, y de acuerdo con Mancheno (2015), los índices de calidad de agua pueden organizarse en 10 categorías dentro de 4 grupos. Las categorías están orientadas de acuerdo con su uso:

Grupo I: aplica a tensores e incluye dos categorías:

- **Los indicadores en la fuente:** los cuales reportan la calidad del agua, generada por tensores en fuentes discretas.
- **Los indicadores en un punto diferente a la fuente:** reportan la calidad del agua generada por fuentes difusas.

Grupo II: mide la Capacidad de Estrés e incluye 4 categorías:

Medidas simples como indicadores: incluyen muchos atributos y componentes individuales del agua, que pueden ser usados como indicadores de su calidad.

- **Los indicadores basados en criterios o modelos:** correlacionan las medidas de calidad de agua con los niveles estándar o normales que han sido determinados para la preservación y usos adecuados del agua.
- **Índices Multiparámetros:** son establecidos por las opiniones grupales o individuales de expertos.
- **Índices Multiparámetros Empíricos:** son determinados por el uso de las propiedades estadísticas de las mediciones de calidad del agua

Grupo III: incluye la categoría única de indicadores para lagos, específicamente desarrollados para este tipo de sistemas.

Grupo IV: sobre las consecuencias: Incluye 4 categorías:

- **Indicadores de la vida acuática:** basados en las diferentes relaciones de tolerancia de la biota acuática a varios contaminantes y condiciones.
- **Indicadores del uso del agua:** evalúan la relación del agua con usos como, abastecimiento y agricultura.
- **Indicadores basados en la percepción:** los cuales se determinan por las opiniones del público y los usos de los cuerpos de agua.

7.2.2. Usos de los índices

Los índices pueden ser usados para mejorar o aumentar y difundir la información sobre la calidad del agua. Según Mancheno (2015), los posibles usos de los índices son:

- **Manejo del recurso:** Proveen información necesaria para la toma de decisiones sobre las prioridades del recurso.
- **Clasificación de áreas:** Comparar diferentes áreas geográficas respecto al estado del recurso.
- **Aplicación de normatividad:** Comparar con los límites normativos y las políticas existentes.
- **Análisis de la tendencia:** Verificar en un periodo de tiempo, si la calidad ambiental está mejorando o deteriorándose.
- **Información pública:** Utilidad en acciones de concientización y educación ambiental.
- **Investigación científica:** Sintetizar los datos para analizarlos fácilmente y obtener una visión de los fenómenos medioambientales.

7.2.3. Evolución del desarrollo de los índices de calidad

La evaluación general de la calidad del agua ha sido objeto de múltiples discusiones en cuanto a su aplicación para la regulación del recurso hídrico en el mundo ya que ésta considera criterios que no siempre garantizan el resultado esperado para regiones con diferentes características (Torres et al., 2009).

Existe información de que en Alemania en 1848 ya se realizaban algunos intentos por relacionar la presencia de organismos biológicos con la pureza del agua. En los últimos 130 años, varios países europeos han desarrollado y aplicado diferentes sistemas para clasificar la calidad de las aguas; sin embargo, el desarrollo de ICA basados en el empleo de valores numéricos para asignar una graduación de la calidad en una escala son relativamente recientes (Torres *et al.*, 2009).

La importancia de los índices de calidad del agua (ICA), se remite a la segunda guerra mundial y se cree que Horton en 1965 fue uno de los pioneros en la generación de una metodología unificada para estimar patrones o condiciones de contaminación acuática, logrando así, su importancia desde los años 70 hasta el día de hoy (Mosquera, 2018).

Posteriormente, Brown *et al* (1970) junto con la Fundación de Saneamiento Nacional de los Estados Unidos (NFS), desarrolla un nuevo índice llamado Water Quality Index (WQI), creado en 1970, basándose en la metodología del índice de Horton y en el método Delphi para definir los parámetros, pesos ponderados, subíndices y clasificación a ser empleados en el cálculo (SNET, 2016). La clasificación consideró las características que debe presentar la fuente de captación para su destinación para consumo humano. A pesar

de haber sido desarrollado en Estados Unidos, es ampliamente empleado en el mundo y ha sido validado y adaptado en diferentes estudios (SNET, 2016).

Dinius en 1972 planteó un ICA conformado por nueve variables fisicoquímicas y dos microbiológicas; por su parte, el ICA-NSF está constituido por ocho variables fisicoquímicas y un elemento biótico: las Coliformes fecales. Aunque la estimación en ambos índices está orientada al empleo del agua para consumo humano, el de Dinius tiene en cuenta otros usos, como son agricultura, pesca, industria y recreación, el índice Dinius se pueden adaptar y modificar de acuerdo con las condiciones prevalecientes en nuestro medio o de cada sistema acuático en particular (González *et al.*, 2013).

En 1978 Ott presentó una discusión detallada sobre la teoría de índices ambientales y su desarrollo, así como una revisión sobre los índices. Desde 1978 hasta 1994, revisiones de literatura de los ICA desarrollados desde su introducción han revelado nuevos enfoques y proporcionado nuevas herramientas para el desarrollo de las investigaciones de otros índices (Fernández *et al.*, 2004).

Entre los años de 1995 y 1996 se desarrollaron indicadores especiales para una cuenca o región: en 1995, con la Estrategia de evaluación ambiental de Florida (The Strategic Assessment of Florida's Environment - SAFE), formuló un índice especial para la Florida, en 1996 el Índice de British Columbia (BCWQI) de Canadá y el desarrollo del Programa de mejoramiento de la cuenca baja de Miami (Samboni *et al.*, 2007)

Con la creación de la Comunidad Económica Europea, en el año 2007, proponen un nuevo índice de calidad de agua universal, el cual llamaron UWQI, fue desarrollado para proporcionar un método más simple para evaluar la calidad del agua superficial como fuente de agua potable previo tratamiento e incorpora metales pesados. Este índice se fundamentó en doce parámetros: cadmio, cianuro, mercurio, selenio, arsénico, fluoruro, nitratos, OD, DBO5, fósforo total, pH y Coliformes totales (Boyacioglu, 2007).

Según Fernández *et al* (2004), en el mundo hay por lo menos 30 índices de calidad de agua que son de uso común, y consideran un número de variables que van de 3 a 72. Prácticamente todos estos índices incluyen al menos 3 de los siguientes parámetros: OD, DBO o DQO, nitrógeno en forma amoniacal y de nitratos (N-NH₄ y N-NO₃), fósforo en forma de orto fosfato (PO₄-P), pH y sólidos totales.

La metodología Amoeba (A General Method Of Ecological and Biological Assessment), desarrollada por los Países Bajos, utiliza parámetros físico-químicos y biológicos que permiten la valoración ecológica y biológica de los sistemas acuáticos. Su desarrollo estuvo a cargo del Ministerio Holandés de Transporte, Obras Públicas y Manejo del Recurso Hídrico teniendo en cuenta la producción y rendimiento agrícola, la diversidad sustentable de especies y la normativa sustentable (Samboni et al., 2007).

España adoptó el índice de Lomantange y Provencher del estado de Québec (Canadá), en el que se utilizan 23 parámetros, 9 básicos y 14 complementarios. Este índice se fundamenta en el cumplimiento de requisitos de acuerdo al uso del recurso hídrico como: potabilización, contacto primario, riego y mantenimiento de la biodiversidad (Samboni et al., 2007). En España, Queralt en el año 1982 desarrolló el índice simplificado de calidad del agua (ISQA), también es uno de los más utilizados en España, este emplea parámetros como demanda química de oxígeno (DQO), sólidos suspendidos totales (SST), conductividad (CE) y temperatura (Samboni *et al.*, 2007).

En Colombia en 1997 la Universidad del Valle, desarrolla un índice de calidad de agua denominado "ICA Río Cali", empleando tres parámetros fisicoquímicos: Oxígeno disuelto, Demanda Bioquímica de Oxígeno y Coliformes Fecales. Más adelante, en el año 2004 el trabajo realizado por la Corporación Regional del Valle del Cauca (CVC) y la Universidad del Valle, quienes en el proyecto de caracterización y conformación del modelo matemático del río Cauca (PMC) crearon el índice de calidad para el río, al que llamaron ICAUCA, utilizando diez parámetros fisicoquímicos: Oxígeno Disuelto, pH, Color, Turbiedad, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Nitrógeno Total, Fósforo Total, Sólidos Totales, Sólidos Suspendidos Totales y Coliformes Fecales (Serna, 2018).

Chile en 1999 inició un programa de "Monitoreo, educación sanitaria y ambiental" para la recuperación y protección de los cuerpos de agua, considerando el ISQA. En el año 2000, con el monitoreo del río Chile en 18 estaciones, se elaboraron dos ICA para esta corriente (ICA-extendido e ICA-simplificado); su construcción tuvo en cuenta los parámetros representativos a los usos del agua y a la minimización de los costos de análisis (Samboni et al., 2007).

Para el caso latinoamericano, el desarrollo y aplicación de estos índices se ha dado con más auge en México, desarrollando diversos ICA. El índice INDIC-SEDUE fue el primero en aplicarse en México. Este ICA está basado en el índice desarrollado por

Dinius, adaptado y modificado por la Dirección General de Protección y Ordenación Ecológica (DGPOE) de la Sedue (Samboni *et al.*, 2007).

En el 2002, diferentes entidades que conforman el Sistema de Información Ambiental Colombiano, incursionaron sobre la base de los índices desarrollados por Rojas (1991), Behar *et al* (1997), Ramírez y Viña (1998), en los que se han desarrollado catorce indicadores ambientales, de los cuales tres corresponden a la oferta hídrica, dos a la sostenibilidad del recurso, seis a la calidad del agua dulce y tres ICÁ adicionales para las aguas marinas y costeras (Samboni *et al.*, 2007).

En Brasil, la Compañía de Tecnología de Saneamiento Ambiental desarrolló e implementó el ICA de agua cruda para abastecimiento público – IAP como respuesta al aumento en la complejidad de los contaminantes vertidos a las fuentes de agua; su cálculo se realiza mediante el producto de la ponderación de los resultados del índice de calidad de agua ICA -NSF y el índice de sustancias tóxicas ISTO (Torres *et al.*, 2009) .

El ISTO complementa el ICA -NSF de tal forma que se garantice una evaluación integral del agua a ser destinada al abastecimiento público previo tratamiento; los parámetros que lo conforman son clasificados en tóxicos y organolépticos, y dado el amplio uso de cuerpos lenticos con presencia de cianobacterias, incluye el número de células de cianobacterias, además de pruebas genéticas como el Test de Ames (Torres *et al.*, 2009).

En el 2004 los países que integran la Comunidad Andina (CAN) elaboraron una metodología para la medición de la calidad de los recursos hídricos en la que se incluyen variables e indicadores para aguas superficiales, subterráneas y costeras; la propuesta tiene como fin desarrollar un software adecuado a los países que integran la CAM (Samboni *et al.*, 2007).

Por otra parte, en el 2005 la Universidad de Pamplona de Colombia, desarrolló el software ICA test versión 1.0, en el cual se incluye una gran variedad de ICA, diferenciados por país y autor. Gracias a este tipo de herramientas, el uso de índices de calidad se ha extendido en el mundo y ha permitido evaluar el estado de las aguas con mayor facilidad y eficiencia (Serna, 2018).

Los índices de calidad son útiles para ayudar en la toma de decisiones, por lo que es necesario el monitoreo continuo de cada variable que permita adecuar el índice a niveles regional y local (Samboni *et al.*, 2007). “A partir de éstos, varios autores y entidades de

control ambiental, han realizado modificaciones para adaptarlos a las condiciones específicas de diferentes ecosistemas hídricos” (Serna, 2018). Así se tiene una variedad de índices de calidad de agua como se observa en la Tabla 1.

Tabla 1

Índices de Calidad de Agua

ICA	Parámetros incluidas	Tipo de estimación
	Estados Unidos	
NSF	Temperatura, pH, OD, DBO, SDT, turbiedad, Coliformes fecales, NO ₃ -N y fosfatos total	Curvas - Promedio ponderado
Dinius (1987)	Temperatura (aire-superficie), pH, OD, DBO, color, conductividad, NO ₃ -N, alcalinidad, dureza, cloruros, Coliformes totales y fecales	Ecuación - Media geométrica ponderada
Agua de Oregón OWQI	Temperatura, pH, OD, DBO, ST, NO ₂ -N, NO ₃ N, NH ₄ N, fosfatos totales y Coliformes fecales	Ecuaciones - Cuadrado de la media armónica
Idaho	OD, turbidez, fosfatos totales, Coliformes fecales y conductividad	Ecuación - Proporción logarítmica
	Canadá	
British Columbia	Se basa en consecución de objetivos los cuales son los límites seguros de las variables dadas por la normatividad.	Fórmulas - Raíz cuadrada de la sumatoria
	México	
León-1998	Diferencia de Temperatura, pH, OD, DBO5, DQO, SST, NO ₃ -N, NH ₄ -N, fosfatos, alcalinidad, dureza, fenoles, cloruros, Coliformes totales y fecales	Fórmulas - Promedio geométrico ponderado
Montoya (1997)	Conductividad, pH, OD, DBO5, ST, SST, NO ₂ -N, NO ₃ -N, NH ₄ -N, Turbiedad, color, alcalinidad, dureza, cloruros, grasas y aceites, fosfatos, detergentes, Coliformes totales y fecales	Ecuaciones - Promedio ponderado
	Brasil	
CETESB (2002)	Temperatura, pH, OD, DBO5, ST, turbiedad, Coliformes fecales, nitrógeno total y fósforo total	Curvas - Promedio ponderado

ICA	Parámetros incluidas	Tipo de estimación
Colombia		
Behar <i>et al</i> (1997)	OD, DBO5 y Coliformes fecales	Curvas - Promedio ponderado
Rojas (1991)	pH, OD, DBO ponderado 5, ST, turbiedad y Coliformes fecales	
ICAUCA	pH, OD, color, turbiedad, DBO5, nitrógeno total, fósforo total, ST, SST y Coliformes fecales	
España		
Calidad general ICG	Considera 23 parámetros, 9 Básicos (Coliformes totales, OD, DQO, DBO5, conductividad, fosfatos totales, SST, NO ₃ -N, y pH) y 14 complementarios	Grafica - Promedio aritmético ponderado
Simplificado (ISQA)	Temperatura, OD, DQO, SST y conductividad	Curva - Sumatoria
Comunidad Europea		
UWQI	Cadmio, cianuro, mercurio, selenio, arsénico, fluoruro, NO ₃ -N, OD, DBO5, fósforo total, pH y Coliformes totales	Ecuación - Promedio aritmético ponderado

Fuente. Tomado de (Samboni *et al.*, 2007)

7.2.4. Índice Simplificado de calidad de Agua

Es empleado para determinar la calidad de las aguas superficiales, su resultado es un número dimensional que permite operar con muy pocos parámetros analíticos y a la vez ofrece garantías en los resultados (Alonso, 2013). Queralt en el año 1982 instituyó el índice simplificado de calidad de agua (ISQA) para las cuencas de Cataluña de España, el cual se basó en 5 parámetros fisicoquímicos y planteo una clasificación de la calidad del agua para usos específicos del recurso, entre los cuales destaca el abastecimiento para fines de consumo humano (Alonso, 2013).

“El uso de este índice es de gran interés ya que permite obtener resultados fiables en forma rápida y económica muy adecuados para su aplicación, tanto en las aéreas rurales de escasos recursos como en la gestión de espacios protegidos” (Bustamante *et al.*, 2002). Es, por tanto, una herramienta útil para conocer el estado de la calidad de las aguas e identificar fuentes de contaminación, que facilita dirigir los posteriores estudios específicos de identificación de problemas y las actuaciones que conlleven (Bustamante *et al.*, 2002).

Según Terán (2019) los 5 parámetros fisicoquímicos para la determinación del ISQA son:

- DQO [mg/L]
- Sólidos suspendidos totales [mg/L]
- Oxígeno disuelto [mg/L]
- Conductividad [$\mu\text{S}/\text{cm}$]
- Temperatura [$^{\circ}\text{C}$]

La ponderación del ISQA va de 0 (calidad mínima) hasta 100 (calidad máxima).

7.3. Series de Tiempo

“Una serie tiempo es una sucesión de observaciones de una variable, tomados o medidos en determinado tiempo, ordenados cronológicamente y registrados, usualmente en igual intervalo de tiempo. Su principal objetivo, es su análisis para hacer pronósticos” (Villavicencio, 2010).

7.3.1. Clasificación de las series temporales

Según Martínez (2009) se puede clasificar las series temporales en los siguientes tipos:

- **Serie Estacionaria:** Cuando los valores oscilan alrededor de un nivel constante.
- **Serie No Estacionaria:** Cuando los valores no oscilan alrededor de un nivel constante. También se las conoce como series con tendencia.
- **Serie Estacional:** Cuando tiene un comportamiento superpuesto que se repite a lo largo del tiempo.
- **Serie No Estacional:** Cuando no tiene un comportamiento superpuesto que se repite a lo largo del tiempo.
- **Serie homocedástica:** si su variabilidad se mantiene constante a lo largo de la serie.
- **Serie heterocedástica:** Cuando la variabilidad de la serie aumenta o disminuye a lo largo del tiempo.

7.3.2. Componentes de una serie temporal

Para López (2018) una serie temporal se puede caracterizar de acuerdo a sus componentes:

- **Tendencia:** es la componente de largo plazo que determina la base de crecimiento (o decrecimiento) de la serie. Si la serie es estacionaria, su media y varianza son invariantes.
- **Estacionalidad:** es el comportamiento de una serie dentro de un período dado. Las series temporales pueden formar patrones que se repiten de un período al siguiente.
- **Ciclos:** son desviaciones de la tendencia subyacente debido a distintos factores generalmente externos), diferentes de la estacionalidad. El tiempo y duración de los ciclos no necesariamente es regular.
- **Aleatoriedad:** fluctuaciones impredecibles o no periódicas que subyacen en la serie.

7.3.3. Modelado de una serie de tiempo

Se basa en realizar una representación matemática en forma ordenada que posibilite capturar, total o parcialmente, el proceso generador de los datos; una vez se construye un modelo, es posible realizar el pronóstico de la serie para un horizonte determinado, es decir, estimar sus valores futuros. Pronosticar es fundamental puesto que las predicciones se pueden incorporar al proceso de toma de decisiones a corto, mediano y largo plazo (Velásquez *et al.*, 2013).

7.3.3.1. Métodos de series temporales

“No existe un solo modelo para establecer pronósticos que sea el mejor. De hecho, existen diferentes métodos para realizar estimaciones que se puedan usar. Estos métodos se dividen en dos tipos clásicos: métodos cualitativos y cuantitativos” (Sarmiento, 2008).

7.3.3.1.1. Métodos cualitativos

Son aquellos que valoran la experiencia y usan su opinión para establecer pronósticos que predican, en forma subjetiva, hechos futuros. Son claves sobre todo cuando los datos históricos no están disponibles o son pocos. Las técnicas cualitativas son usadas a menudo para predecir cambios en los patrones de datos históricos (Sarmiento, 2008).

Sarmiento (2008), Manifiesta que entre las técnicas cualitativas más representativas se encuentran:

- **El ajuste de curva subjetivo:** basado en el “ciclo de vida de un producto” de acuerdo con Bolerean, O`Connell y Koehler (2007). Se piensa que este ciclo de vida se compone de una primera etapa: el aumento, en el que las ventas comienzan muy lentamente, luego rápidamente. En la segunda etapa se consigue una estabilidad, sigue el aumento, pero a menor velocidad hasta estabilizarse, y en la última, aparece la declinación. La construcción subjetiva de estas curvas no es sencilla; requiere gran experiencia y criterio.
- **El método Delphi:** se basa en el concurso de un grupo de expertos que de forma aislada resuelve un cuestionario sobre las actividades a pronosticar, luego se resumen las opiniones. Se espera que después de varias rondas de cuestionarios, las respuestas del grupo lleguen a un consenso que se utilizará como pronóstico. Rowe y Wright (2001) desarrollan al detalle dicha metodología.
- **Comparaciones técnicas autónomos del tiempo:** las variaciones en un área se pronostican a partir del monitoreo de cambios que tienen lugar en un área distinta, pero que están relacionadas.

7.3.3.1.2. Métodos cuantitativos

“Estas técnicas necesitan el estudio de información histórica para estimar los valores futuros de la variable de interés. Estos modelos se pueden agrupar en dos clases: univariados y causales” (Sarmiento, 2008).

- **Modelos univariados**

Predicen el futuro de una serie con base en su comportamiento histórico propio; son muy útiles si el patrón detectado en el pasado se mantiene hacia el futuro, de lo contrario no son aconsejables. Los modelos integrated autoregressive moving average model (ARIMA model) son representativos de este grupo (Sarmiento, 2008).

- **Modelos causales**

Requieren la identificación de otras variables que se relacionan de la manera causa efecto con la variable que se desea predecir. Una vez identificadas estas variables relacionadas, se construye un modelo estadístico que pretende describir la relación entre estas variables y la variable que se desea pronosticar. Los modelos de regresión lineal simple y los

modelos de regresión lineal múltiple son los más conocidos de este grupo (Sarmiento, 2008).

7.3.3.2. Indicadores de modelos de series de tiempo

Los indicadores en las series de tiempo comparan la efectividad de los modelos simulados respecto a los datos reales. En los modelos pronosticados se busca el modelo que menor valor tenga para los indicadores MAPE, MAD, MSD, MAE y RMSE ya que menores valores representan un mejor ajuste del modelo (Ortiz, 2016).

- **MAPE:** Porcentaje promedio absoluto de error, calcula la exactitud de los valores estimados de la serie de tiempo. La exactitud se expresa en valor absoluto como un porcentaje y_t igual al valor observado, \hat{y}_t es el valor estimado y n el número de observaciones (SENATUR, 2017).

$$MAPE = \sum_{i=1}^n \left| \frac{(y_t - \hat{y}_t)}{y_t} \right| \times \frac{1}{n} \quad y_t \neq 0 \quad (1)$$

- **MAD:** Indica la desviación media absoluta, mide la exactitud de los valores pronosticados de la serie de tiempo. Expresa la exactitud en las mismas unidades de los datos” (Ortiz, 2016).

$$MAD = \frac{\sum_{i=1}^n |y_t - \hat{y}_t|}{n} \quad (2)$$

- **MSD:** Desviación cuadrática media, es más sensible a errores anormales de pronóstico que el MAD” (SENATUR, 2017).

$$MSD = \sum_{i=0}^n (y_t - \hat{y}_t) \quad (3)$$

7.3.3.3. Modelo de Descomposición de una serie de tiempo

“Un tipo de modelos de pronóstico que ha resultado útil durante años es la descomposición de series de tiempo. Estos métodos incluyen el análisis espectral, el análisis clásico de series de tiempo, y el análisis de series de Fourier” (Frausto, 2009).

Frausto (2009), indica que: el pronóstico tradicional por descomposición de series de tiempo se conjuga de acuerdo con alguna función (generalmente sumadas o multiplicadas, esquema aditivo o multiplicativo). Está construido sobre la filosofía de que un patrón de datos históricos puede descomponerse en cuatro categorías o componentes: tendencia, estacionalidad, ciclo y aleatoriedad. El modelo de descomposición es adecuado para identificar puntos críticos y es una excelente herramienta de pronóstico para el periodo de tiempo mediano o largo plazo.

En la práctica, el modelo con frecuencia se reduce sólo a los componentes de tendencia y de estacionalidad. Esto se hace porque un modelo bien especificado posee un valor del índice residual (R) de 1.0 y esto no afecta al pronóstico, y porque resulta difícil en muchos casos descomponer la variación cíclica a partir de la variación aleatoria (Frausto, 2009). Tratar el índice cíclico (C) como igual a 1.0 no es tan grave como inicialmente podría parecer, porque el modelo se actualiza por lo regular cuando se dispone de nueva información. El efecto de la variación cíclica tiende a compensarse en el proceso de actualización (Frausto, 2009).

El valor de tendencia (T) en el modelo puede calcularse por varios métodos, como ajustar una línea “por simple vista”, empleando alguna forma de promedio móvil, o utilizando el método de los mínimos cuadrados. El método más conocido de los cuadrados mínimos es una expresión matemática que minimiza la suma de las diferencias cuadráticas entre la información real y la línea de tendencia propuesta. Se puede obtener una línea de mínimos cuadrados para toda forma de línea de tendencia, ya sea lineal o no lineal (Frausto, 2009).

“El componente de estacionalidad del modelo está representado por un valor de índice que cambia para cada periodo que se pronostica, este índice es una razón de la demanda real en un tiempo dado para la demanda promedio” (Frausto, 2009).

De esta forma, el número de periodos en el ciclo debe ser analizado de forma particular para la aplicación de cada estudio. Dado que el modelo implica el producto de estos cuatro elementos, podemos descomponer y encontrar cada uno de estos como factores de la variable (Frausto, 2009).

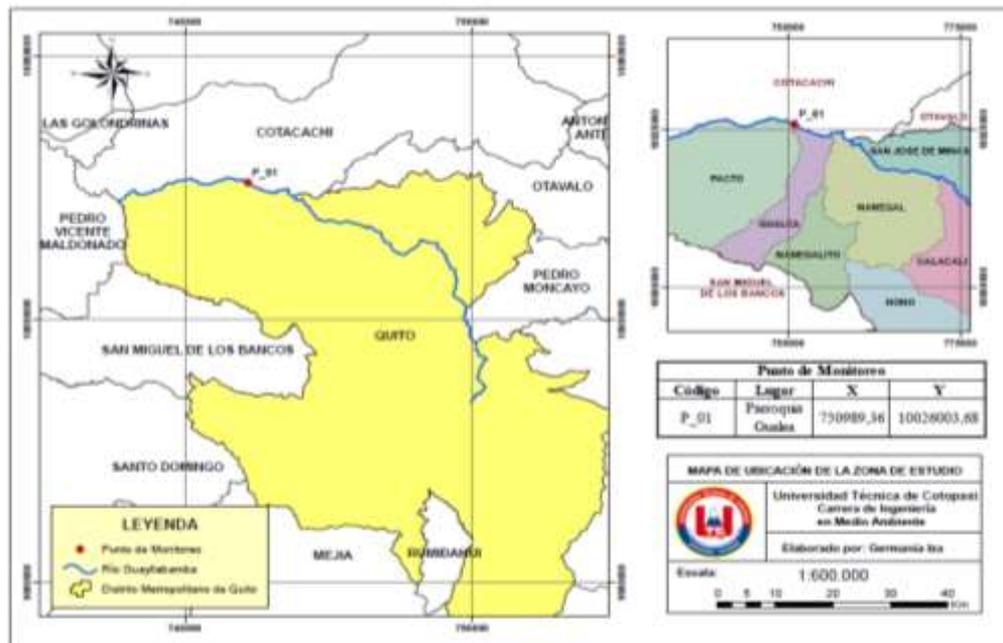
8. PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO

8.1. Descripción de la zona de estudio

La zona de estudio se encuentra ubicada en la provincia de Pichincha en el Distrito Metropolitano de Quito en la zona media de la subcuenca del río Guayllabamba con una extensión de 96,65 km, el punto de monitoreo está situado en la parroquia Gualea entre las coordenadas: 751167,38 de longitud y 10025917,84 de latitud (ver Figura 2).

Figura 2

Ubicación de la Zona de Estudio



Elaborado por: Germania Iza

8.2. Selección del caso

La investigación se origina ante la necesidad de obtener información referente a la calidad del agua del río Guayllabamba por ser uno de los ríos más importantes del Distrito Metropolitano de Quito, según investigaciones el río Guayllabamba presenta un nivel alto de contaminación principalmente por las actividades antrópicas. Utilizando la estrategia de búsqueda mediante la terminología referente a calidad de agua del río Guayllabamba se evidencia ausencia de estudios de calidad de dicho río por lo que merece ser objeto de estudio, dentro del proceso de selección del estudio se tomó en cuenta los criterios de:

Inclusión: Investigaciones que se centren en índices de calidad de agua y calidad del agua del río Guayllabamba.

Exclusión: Investigaciones que no contengan los términos calidad de agua o índices de calidad de agua.

8.3. Acceso al campo

Se eligió como escenario para la realización de este estudio el río Guayllabamba ubicado dentro del Distrito Metropolitano de Quito, en donde se accedió progresivamente a la información primordial mediante fuentes de información primarias, no se requirió realizar ningún tipo de permiso para acceder a los datos requeridos para el análisis ya que los datos de monitoreo en la secretaria del ambiente se encuentran como información pública.

8.4. Recolección de los datos

El estudio emplea la técnica de investigación documental para la recopilación de información, la base de datos de los parámetros fisicoquímicos del río Guayllabamba del periodo 2013-2019 fueron compilados de la página oficial de la secretaria del ambiente del Distrito Metropolitano de Quito en su sección políticas y planeación ambiental - Red de Monitoreo, la selección de la metodología se realizó a través de revisiones bibliográficas de artículos científicos sobre índices de calidad de agua y se seleccionó aquella que se ajustó a nuestra base de datos, además para obtener información de las características hidroclimáticas de la zona de estudio se procedió a la revisión de anuarios meteorológicos y a solicitar datos mensuales de precipitación, temperatura y evaporación del periodo 2013-2019 de la estación meteorológica Tomalon Tabacundo, al Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) por medio del portal único de tramites ciudadanos para la emisión de información estadística meteorológica e hidrológica para el sector público y académico, se seleccionó dicha estación meteorológica por ser la más cercana al río Guayllabamba ubicada a 18 km aproximadamente.

8.5. Análisis de datos

8.5.1. Evaluación de la base de datos disponibles

En el río Guayllabamba fueron tomadas muestras en intervalos mensuales durante el periodo 2013-2019 en el punto de monitoreo del cuerpo hídrico establecido en la Red Metropolitana de Monitoreo del Recurso Hídrico (RMMRH), por la dirección de Políticas y Planeamiento Ambiental de la Secretaría del Ambiente del Distrito Metropolitano de Quito.

En el punto de muestreo, fueron medidos 25 parámetros fisicoquímicos, siguiendo el procedimiento del laboratorio de Investigación, Análisis y Monitoreo – IAM-Q de la Secretaría del Ambiente, según la metodología detallada en la Tabla 2 y 3.

Tabla 2

Toma y Conservación de Muestras de Agua

Tipo de envase	Preservación	Parámetros para Análisis
Polietileno (2 L)	4-5 ° C	DBO ₅ , detergentes, sulfatos, sulfuros, cianuros, color, sólidos disueltos, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos totales.
Vidrio ámbar (500 ml)	4-5 ° C, acidificada con ácido sulfúrico	DQO, aceites y grasas, TPH, fenoles, fósforo.
Vidrio ámbar (500 ml)	4-5 ° C, acidificada con ácido nítrico	Metales

Fuente. Tomado de <https://sites.google.com/site/redaguadmq/tecnicas-de-muestreo-y-metodos>

Tabla 3

Métodos de Análisis de Parámetros Analizados In Situ y Laboratorio

Parámetros	Método de análisis
pH	APHA 4500-H B
Conductividad	APHA 2510 A
Temperatura	APHA 5550 B
Oxígeno disuelto	SM 4500-O
DQO	APHA 5220 D
DBO ₅	APHA 5210 B
Sólidos suspendidos totales	APHA 2540 D
Aluminio	APHA 3111 D-A
Tensoactivos	APHA 5540-C
Sulfatos	APHA 4500-SO ₄
Aceites y grasas	EPA 1664
TPH	EPA 1664
Cadmio	APHA 3113 B -Cd
Cobre	APHA 3111 B-Cu
Cromo	APHA 3111 B-Cr
Cinc	APHA 3111 B-Zn
Manganeso	APHA 3111 B-Mn
Níquel	APHA 3111 B-Ni
Plomo	APHA 3113 B-Pb
Mercurio	APHA 3112 B-Hg
Arsénico	APHA 3113 B-As

***APHA:** Asociación para la Salud Pública de los Estados Unidos, **EPA:** Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos **SM:** Método Estándar.

Fuente. Tomado de <https://sites.google.com/site/redaguadmq/tecnicas-de-muestreo-y-metodos>

8.5.2. Selección del modelo ICA

En base a la investigación bibliográfica detallada en la fundamentación teórica sobre los diferentes índices de calidad de los cuerpos hídricos a nivel mundial, se tomó como referencia un índice conocido y utilizado a nivel mundial como lo es el ICA - NSF (1970), también se ha tomado en cuenta el ICA Dinius (1972) desarrollado a partir del ICA-NSF, el índice de Rojas (1991) desarrollado en Colombia, ICAUCA (2004) desarrollado a partir de parámetros relevantes para la evaluación de la calidad del recurso hídrico, UWQI (2007) índice universal para la evaluación de la calidad del agua diseñado para fuentes de agua superficial para consumo humano previo tratamiento e incorpora metales pesados y por último se consideró el ISQA (1982) índice simplificado de calidad de agua diseñado en España. Para este fin se realizó una tabla de comparación (Anexo 3) con los parámetros del río Guayllabamba y los que conforman los índices de calidad de agua mencionados.

En donde se realizó un análisis comparativo y se seleccionó el índice simplificado de calidad de agua (ISQA) por cumplir con el 100% de la disponibilidad de los parámetros del río Guayllabamba, los demás índices fueron descartados principalmente porque no se dispone el parámetro de Coliformes fecales en los parámetros del río Guayllabamba. Una vez seleccionado el modelo del ICA se procede a la conformación de la base de datos

8.5.3. Conformación de la base de datos inicial

La base de datos inicial fue conformada con cinco parámetros fisicoquímicos: temperatura (T), demanda química de oxígeno (DQO), oxígeno disuelto (OD), sólidos suspendidos totales (SST), y conductividad eléctrica (CE) del periodo 2013 – 2019 (Anexo 4), la misma que fue sometida a un proceso de clasificación, ordenación y depuración. Para la depuración de los datos se realizó graficas de control de los 5 parámetros (Anexo 5) en donde se excluyó datos que eran infrecuentes y se obtuvo una nueva base de datos para el análisis de la calidad del agua del río Guayllabamba (Anexo 6).

8.5.3.1. Análisis de la base de datos inicial y datos atípicos

A partir de la nueva base de datos se realizó el análisis estadístico con los valores de media, mediana, moda, desviación estándar, mínimo y máximo como se evidencia en la Tabla 4 y se efectuó el cálculo de la prueba z con la ecuación 4 para verificar valores atípicos.

$$Z = \frac{x - \mu}{\sigma} \quad (4)$$

Donde:

x: valor de la variable

μ : Media de la distribución original

σ : Desviación estándar de la distribución original

Si el valor z se encuentra entre los valores -3 y 3 no se considera un valor atípico.

Tabla 4

Estadísticos Descriptivos de los Parámetros Físicoquímicos del Río Guayllabamba

Parámetros físicoquímicos	Media	Mediana	Moda	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
T(°C)	22,05	22	21,8	1,27	19,9	24,4
DQO (mg/L)	79,52	54,5	95	76,69	9,5	362
SST (mg/L)	327,29	152,5	56	481,23	50	2276
OD (mg/L)	8,29	8,21	8,02	0,58	7,15	9,56
CE (uS/cm)	317,5	333	344	61,64	223	413

Elaborado por: Germania Iza

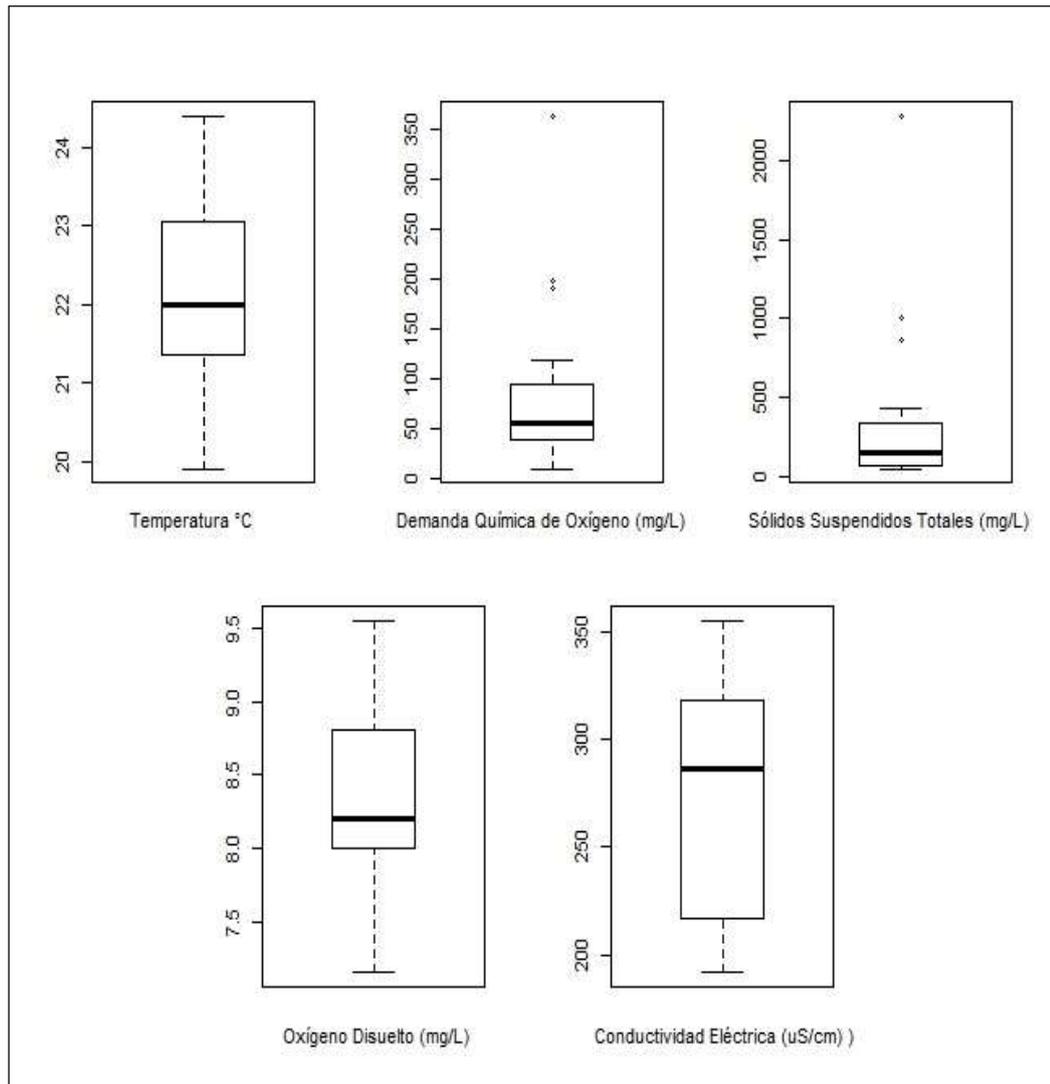
Los valores atípicos u outliers son medidas extremadamente mayores o pequeñas respecto al total de los datos y, por tanto, podrían no representar la población para la cual fueron colectadas. Estos son el resultado de errores de transcripción, errores de codificación o problemas gruesos de muestreo o medición. El no remover outliers o remover falsos outliers conduce a problemas de distorsión de los parámetros estimados de la población (Torres, 2018).

En función de lo anterior, una vez realizada la prueba z (Anexo 7) se identificó datos atípicos en los parámetros de la demandad química de oxígeno y los sólidos suspendidos totales, a partir de ello el tratamiento de valores atípicos se lo realizo mediante el software Rstudio.

En el diagrama de cajas se pueden observar en general medianas similares a la media y se evidencian valores extremos o posibles outliers en los parámetros demanda química de oxígeno y sólidos suspendidos totales (ver Figura 3).

Figura 3

Boxplot de los Parámetros Físicoquímicos del Río Guayllabamba del Periodo 2013 - 2019

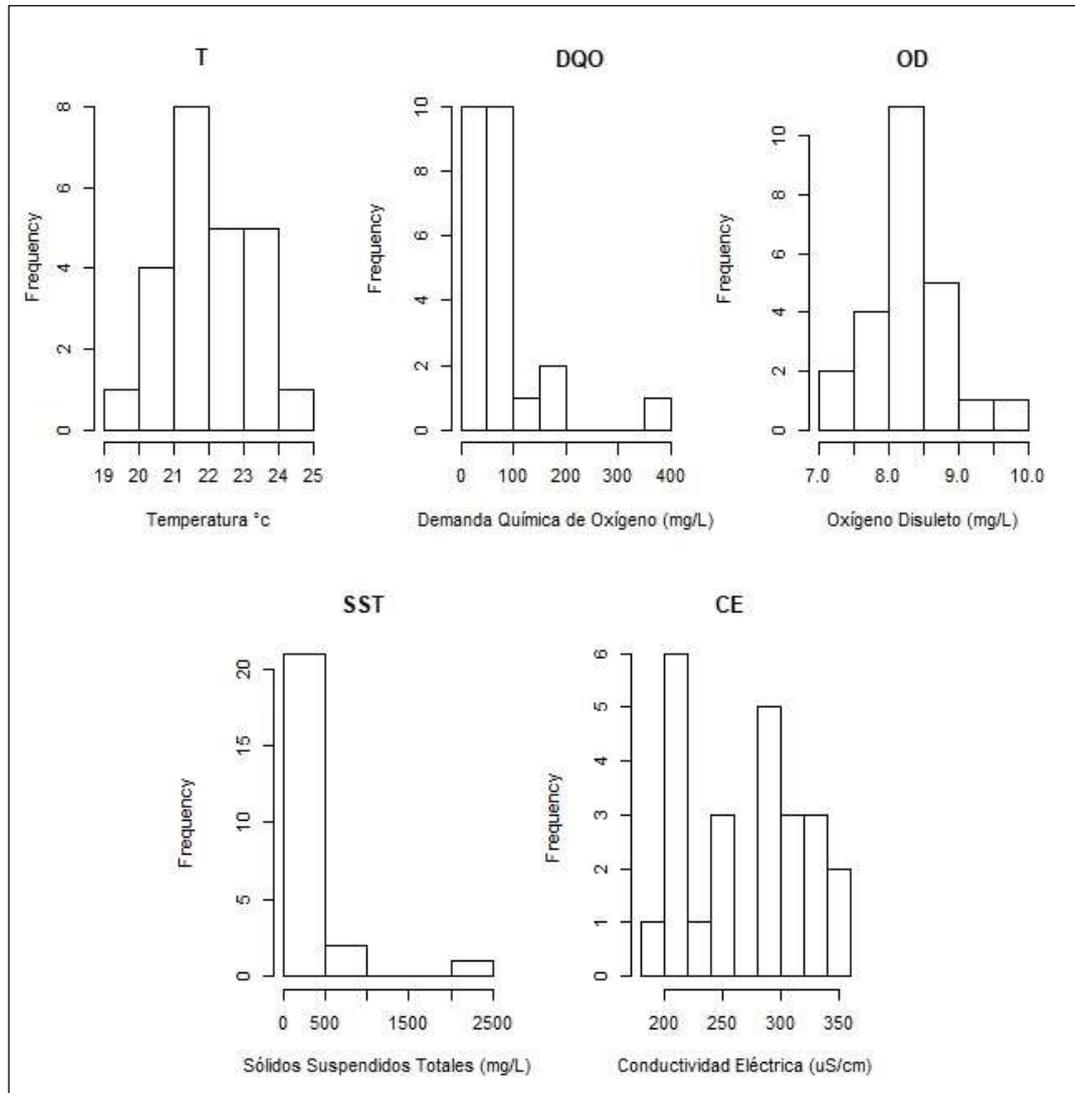


Elaborado por: Germania Iza

Mediante el histograma de frecuencias se puede observar una distribución asimétrica hacia la izquierda de los parámetros demanda química de oxígeno y sólidos suspendidos totales (ver Figura 4).

Figura 4

Histogramas de los Parámetros Físicoquímicos del Río Guayllabamba del Periodo 2013 - 2019



Elaborado por: Germania Iza

A partir del análisis del diagrama de cajas e histogramas se efectuó el tratamiento de outliers en el software R, tomando en cuenta la distribución asimétrica de los parámetros demanda química de oxígeno y sólidos suspendidos totales se reemplazó los outliers mediante imputación de la mediana de valores inmediatos superiores e inferiores al outliers. Al mismo tiempo se realizaron pruebas Z (Anexo 8, 9 y 10) para verificar si son valores atípicos o valores extremos.

Una vez tratados los datos atípicos se obtiene una base de datos definitiva de los parámetros fisicoquímicos del río Guayllabamba con la cual se realizará el cálculo del ISQA.

8.5.4. Análisis de base de datos para serie de tiempo

Para realizar un pronóstico se debe tener en cuenta una base de datos significativa con valores históricos sucesivos de un periodo determinado para obtener buenas predicciones de los valores futuros de la serie de tiempo, por esta razón se consideró realizar el pronóstico de la calidad del agua del río Guayllabamba para 5 años con el periodo de tiempo 2016-2019, es así que la base de datos para realizar el pronóstico y formar la serie de tiempo se conforma a partir de la base de datos inicial (Anexo 4).

Para obtener valores históricos sucesivos es decir valores de los 12 meses de los 4 años, se procedió a completar datos faltantes con el software R y el método de los promedios. Ya que la serie de tiempo se conformaría con 48 valores para cada parámetro y en cada parámetro se observaba 11 datos vacíos se tendría un porcentaje de 22% de información faltante al no ser un porcentaje significativo se procedió al llenado de datos.

8.5.4.1.Llenado de datos con el Software Rstudio

Se formó la base de datos inicial para la serie de tiempo (Anexo 11) y se importó los datos al software Rstudio en donde se realizó el análisis estadístico descriptivo (ver Tabla 5).

Tabla 5

Estadísticos Descriptivos de Parámetros Físicoquímicos de la Base de Datos Inicial de la Serie de Tiempo

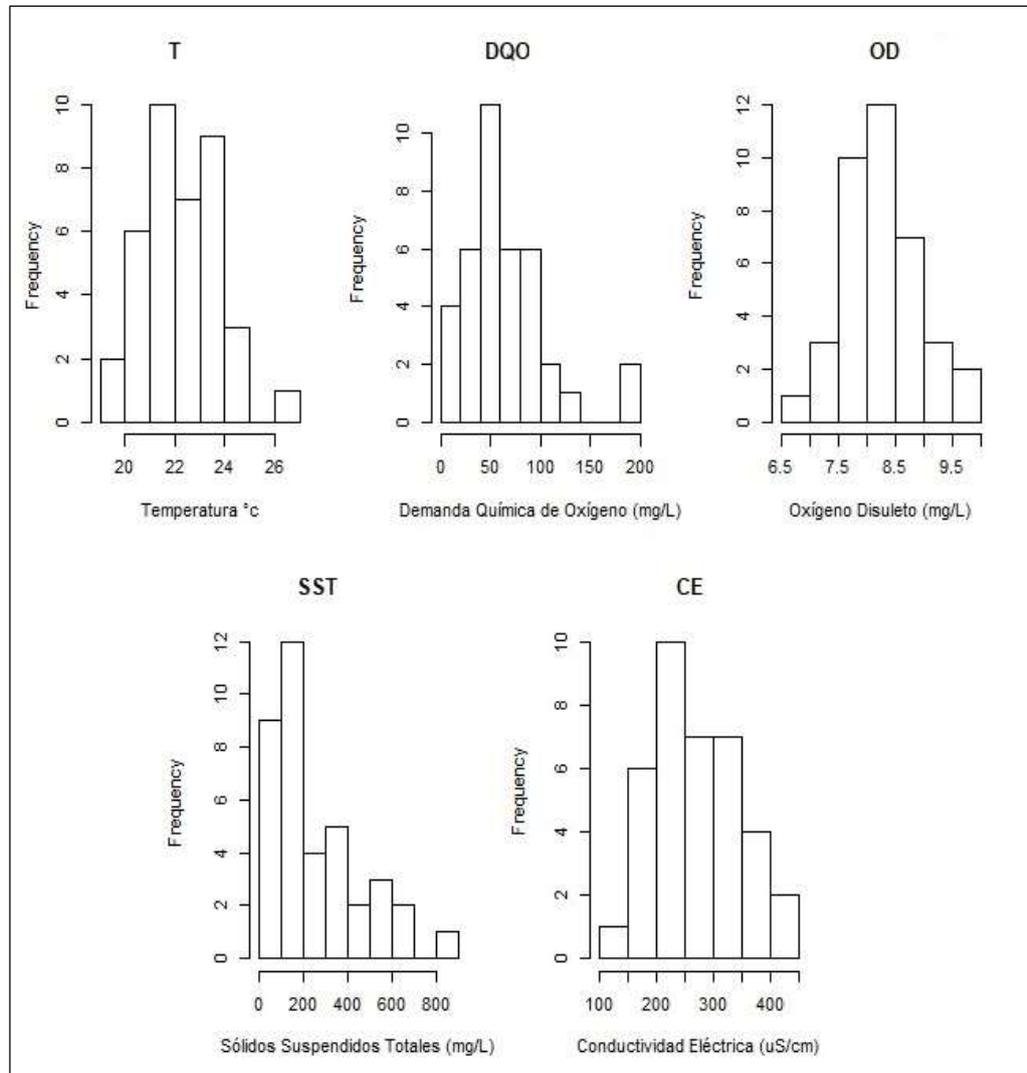
Parámetros físicoquímicos	Media	Mínimo	Máximo	Q1	Mediana	Q3
DQO (mg/L)	65.29	3.00	198.00	40.25	55.00	84.25
SST (mg/L)	259.6	50.0	844.0	119.5	187.0	349.5
CE (uS/cm)	275.3	135.4	413.00	219.0	259.0	338.0
T (°C)	22.34	19.70	26.10	21.32	22.20	23.30
OD (mg/L)	8.27	6.50	9.61	7.81	8.25	8.84

Elaborado por: Germania Iza

Para una visualización clara de la distribución de los datos se utilizó histogramas de frecuencias, por ser uno de los métodos que indican la distribución de los datos y provee información sobre la simetría y variabilidad de los datos (ver Figura 5).

Figura 5

Histogramas de Frecuencias de la Base de Datos Inicial de la Serie de Tiempo Periodo 2016-2019



Elaborado por: Germania Iza

Los datos ausentes fueron completados con el método de imputación (Anexo 12), imputación de medias para los parámetros T, OD y CE por la distribución de sus datos en cambio para los parámetros SST Y DQO se utilizó la imputación de medianas por su distribución asimétrica hacia la izquierda. Cuatro datos faltantes de cada parámetro fueron llenados con dicho método, el año 2018 se completó con este método y así sirvió de base para completar datos ausentes de los demás años con el método de los promedios.

8.5.4.2. Llenado de datos con el método de los promedios

Para el método de los promedios se necesita dos estaciones o en nuestro caso un año con datos completos y otro con los datos incompletos, se selecciona los datos comunes en ambos lados y se obtienen los promedios, el principio de los métodos de promedios se basa en que la relación de los promedios de datos es igual a la relación de los datos parciales expresado en ecuación serie de la siguiente manera:

$$\frac{\bar{y}}{\bar{x}} = \frac{y}{x} \quad (5)$$

A partir de la ecuación 5 se obtiene la fórmula para completar los datos

$$y = \frac{\bar{y}}{\bar{x}} * x \quad (6)$$

Donde:

Y: valor faltante

\bar{y} : promedio de la estación incompleta

\bar{x} : promedio de la estación completa

X: valor parcial de la serie completa

Adicional se realizó un análisis de consistencia de datos con la curva de doble masa o curva de acumulación, este método verifica la homogeneidad de los datos y que no existan anomalías durante algún período, consiste en construir una curva acumulativa de los datos obteniendo una recta con el coeficiente de correlación cercano a uno (Villacrés *et al.*, 2016). Si se obtiene un coeficiente de correlación ≥ 7 puede aplicar el método para llenar los datos ausentes.

Entonces se realizó las gráficas de curvas de doble masa (Anexo 13) y se obtuvo coeficientes de correlación ≥ 7 y se empleó la ecuación 6 para completar la base de datos. Una vez completado los datos ausentes se calcularon los valores z para identificar valores atípicos (Anexo 14) y se detectaron 2 valores atípicos en el parámetro DQO, se reemplazaron los valores con el método de imputación y se tuvo la base de datos definitiva de serie de tiempo para realizar el cálculo del pronóstico.

8.5.5. Herramientas Estadísticas

8.5.5.1. Índice Simplificado de calidad de Agua

La ecuación utilizada para definir el ISQA es la siguiente:

$$ISQA = T \cdot (A + B + C + D) \quad (7)$$

Donde:

T = Temperatura (T), expresada en °C

A = Demanda química de oxígeno (DQO), expresada en mg/L

B = Sólidos suspendidos totales (SST), expresado en mg/L

C = Oxígeno disuelto (OD), expresado en mg/L

D = Conductividad (CE), expresada en $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 18 °C.

Si la conductividad se mide a 25 °C para la obtener la conversión a 18 °C se multiplicará el valor de C.E por 0,86.

En la Tabla 6 se encuentran los valores de T, A, B, C y D a partir de ecuaciones

Tabla 6

Ecuaciones de Cálculo de los Parámetros Fisicoquímicos para el ISQA

Parámetro	Condiciones	Cálculo	Valores
T	$T \leq 20\text{ °C}$	$T = 1$	Entre 0,8 y 1
	$T > 20\text{ °C}$	$T = 1 - (t - 20) \times 0,0125$	
A	$DQO \leq 10\text{ mg/l}$	$A = 30 - DQO$	Entre 0 y 30
	$60\text{ mg/L} \geq DQO > 10\text{ mg/L}$	$A = 21 - (0,35 \times DQO)$	
	$DQO > 60\text{ mg/L}$	$A = 0$	
B	$SST \leq 100\text{ mg/L}$	$B = 25 - (0,15 \times SST)$	Entre 0 y 25
	$250\text{ mg/L} \geq SST > 100\text{mg/L}$	$B = 17 - (0,07 \times SST)$	
	$> 250\text{ mg/L}$	$B = 0$	
C	$OD < 10\text{ mg/L}$	$C = 2,5 \times OD$	Entre 0 y 25
	$OD \geq 10\text{ mg/L}$	$C = 25$	
D	$\leq 4000\ \mu\text{S}/\text{cm}$	$D = (3,6 - \log CE) \times 15,4$	Entre 0 y 20
	$CE > 4000\ \mu\text{S}/\text{cm}$	$D = 0$	

Fuente. Tomado de (Pacheco *et al.*, 2019)

Finalmente, el resultado del ISQA arroja valores entre 0 y 100, que corresponden a valores pésimos y óptimos, respectivamente (ver Tabla 7).

Tabla 7

Clasificación de la Calidad de Agua del ISQA

Valor ISQA	Calidad	Color	Observaciones
90 - 100	Muy buena	Azul	Todos los usos
70 - 90	Buena	Verde	Agua potable (tratamiento convencional), Piscicultura, Uso recreativo por contacto directo.
50 - 70	Regular	Amarillo	Riego, Agua industrial, Agua potable (tratamiento especial)
25 - 50	Mala	Naranja	Uso de recreación por contacto indirecto, refrigeración, dudosa para tratamiento con fines de consumo y solo para cultivos muy resistentes
0 - 25	Pésima	Rojo	Inaceptable para consumo y riego

Fuente. Adaptado a partir de (Torres *et al.*, 2009), (Alonso, 2013) y (Pacheco *et al.*, 2019)

8.5.5.2. Modelo matemático de descomposición de series de tiempo

El modelo relaciona los componentes de una serie de tiempo a través de la siguiente fórmula:

$$F = T x I \quad (8)$$

Donde:

F = valor de pronóstico

T = nivel de tendencia

I = índice de estacionalidad.

La expresión matemática para el índice de estacionalidad:

$$I = \frac{\bar{X}_i}{\bar{X}_g} \quad (9)$$

Donde:

I = índice de estacionalidad

\bar{X}_i : media o promedio de los valores del periodo i

i: periodos

\bar{X}_g : media o promedio general de los valores de la variable

Para obtener el nivel de tendencia:

Primero desestacionalizar los valores de la serie:

$$\frac{X}{I} \quad (10)$$

Donde:

X: valores de la variable

I: índice de estacionalidad

De los valores desestacionalizados se realiza un análisis de regresión o se realiza la gráfica de dispersión se inserta la línea de tendencia y la ecuación, con la cual se obtiene el nivel de tendencia.

Según el método de regresión, el objetivo será encontrar el valor de a (intersección con el eje x) y el valor de b (pendiente).

La expresión matemática para una línea de tendencia

lineal es:

$$T = a + bt \quad (11)$$

Donde:

t = es el tiempo (o periodo).

T = es el nivel de demanda promedio o tendencia.

a y b = coeficientes que se evaluarán para la serie de tiempo en particular.

$$b = \frac{\sum D_t(t) - N(\bar{D})(\bar{t})}{\sum t^2 - N\bar{t}^2} \quad (12)$$

$$a = \bar{D} - b\bar{t} \quad (13)$$

Donde:

N = el número de observaciones utilizadas en el desarrollo de la línea de tendencias.

D_t = la demanda real en el tiempo t .

\bar{D} = demanda promedio para N periodos.

t = promedio de t durante N periodos.

8.5.6. Resultados

8.5.6.1. Consolidación de la base de datos

En Tabla 8 se presenta la base de datos definitiva de parámetros fisicoquímicos del río Guayllabamba del periodo 2013-2019 con los valores de cada parámetro analizados y con previo tratamiento de datos atípicos. El parámetro de conductividad eléctrica se lo multiplico por el factor de corrección (F_c) 0,86 para obtener la conversión de conductividad eléctrica de 25°C a 18°C como lo menciona Alonso (2013) es necesario la conversión para realizar el cálculo del índice simplificado de calidad de agua.

Tabla 8

Base de Datos de Parámetros Fisicoquímicos Para el Cálculo del ISQA del Río Guayllabamba

Año	MESES	T (°C)	DQO (mg/L)	SST (mg/L)	OD (mg/L)	CE (uS/cm)	Fc	CE (uS/cm) a 18°C
2013	Junio	20,10	22,00	77,00	8,75	239,00	0,86	205,54
	Julio	21,40	30,00	271,00	8,48	253,00	0,86	217,58
	Agosto	21,80	73,00	208,00	8,01	355,00	0,86	305,30
	Septiembre	21,80	94,00	56,00	8,02	369,00	0,86	317,34
	Octubre	20,30	119,00	437,00	8,40	344,00	0,86	295,84
	Noviembre	22,40	52,00	173,00	8,05	370,00	0,86	318,20
2016	Junio	22,00	9,50	119,00	7,98	250,00	0,86	215,00
	Julio	20,40	55,00	50,00	8,42	285,00	0,86	245,10
	Agosto	22,00	17,00	50,00	8,10	331,00	0,86	284,66
	Septiembre	23,90	26,00	232,00	8,25	296,00	0,86	254,56
	Octubre	23,30	95,00	178,50	7,39	335,00	0,86	288,10
	Noviembre	23,90	48,00	125,00	7,73	390,00	0,86	335,40

Año	MESES	T (°C)	DQO (mg/L)	SST (mg/L)	OD (mg/L)	CE (uS/cm)	Fc	CE (uS/cm) a 18°C
2018	Junio	21,80	61,50	258,50	8,92	242,00	0,86	208,12
	Julio	19,90	54,00	318,00	9,56	251,00	0,86	215,86
	Agosto	21,30	41,00	132,00	8,87	338,00	0,86	290,68
	Septiembre	22,50	56,00	61,00	9,06	386,00	0,86	331,96
	Octubre	22,20	95,00	318,00	8,89	412,00	0,86	354,32
	Noviembre	23,10	77,00	378,00	8,46	393,00	0,86	337,98
2019	Junio	23,30	70,00	98,00	8,97	259,00	0,86	222,74
	Julio	20,10	38,00	121,00	8,16	297,00	0,86	255,42
	Agosto	22,40	49,00	56,00	7,15	344,00	0,86	295,84
	Septiembre	23,00	38,00	71,00	7,57	413,00	0,86	355,18
	Octubre	21,80	198,00	360,00	8,02	245,00	0,86	210,70
	Noviembre	24,40	190,00	204,12	7,78	223,00	0,86	191,78

Fuente: Secretaria del ambiente del Distrito metropolitano de Quito

Elaborado por: Germania Iza

8.5.6.1.1. Análisis de datos

Se calculó y analizó descriptores estadísticos para conocer del grado de dispersión de los datos, así como también se realizó diagrama de cajas e histogramas de frecuencia (ver Tabla 9).

Tabla 9

Estadísticos Descriptivos de la Base de Datos Definitiva Periodo 2013-2019

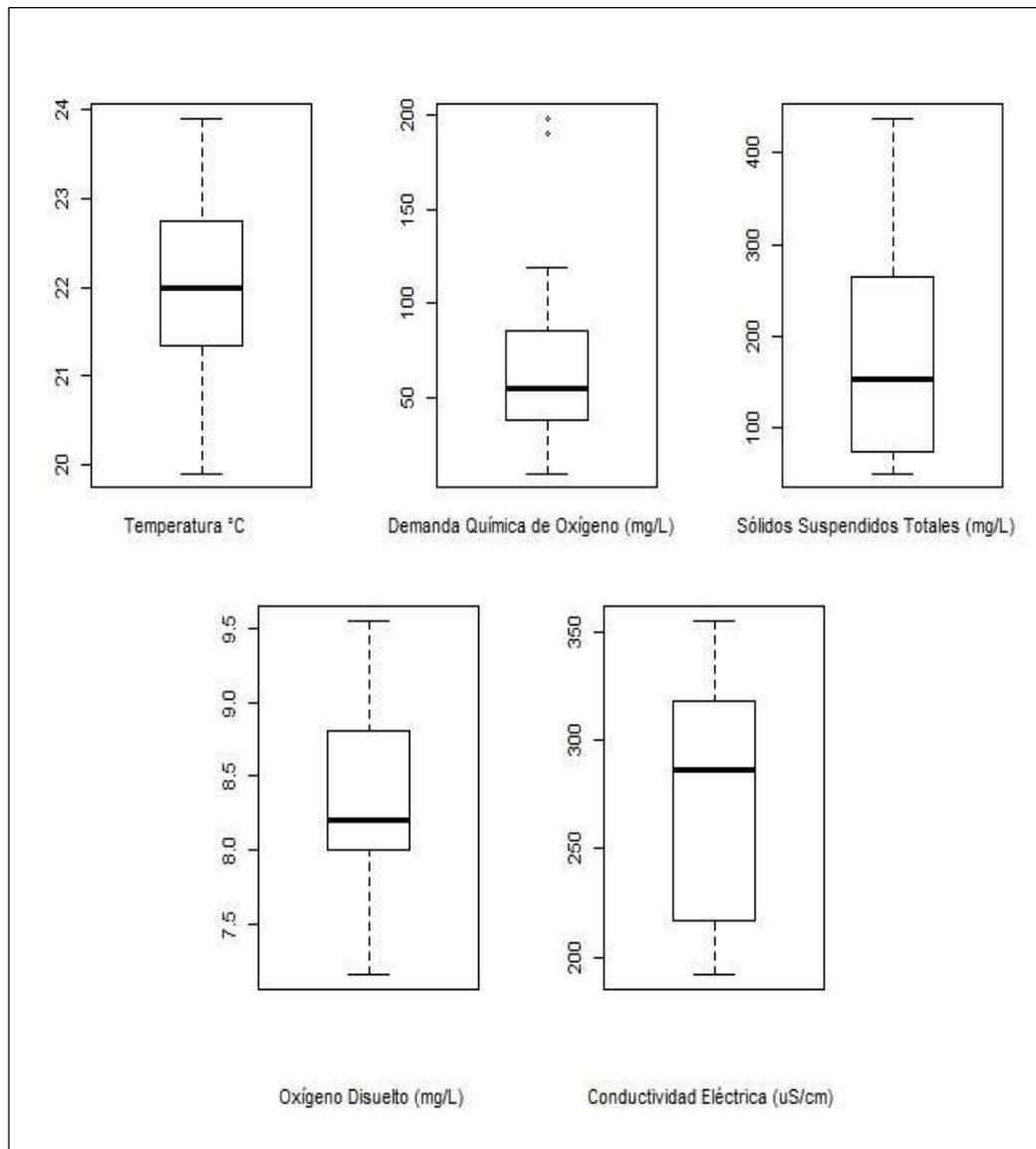
Parámetros fisicoquímicos	Media	Mediana	Moda	Desviación estándar	Error estándar de la media	Mínimo	Máximo
T (°C)	22,05	22	21,8	1,27	0,26	19,9	24,4
DQO (mg/L)	67	54,5	95	47,57	9,71	9,5	198
SST (mg/L)	181,34	152,5	56	116,98	23,9	50	437
OD (mg/L)	8,29	8,21	8,02	0,58	0,12	7,15	9,56
CE a 18°C (uS/cm)	273,05	286,38	295,84	53,01	0,12	191,78	355,18

Elaborado por: Germania Iza

En la Figura 6 se observan los diagramas de caja de los 5 parámetros fisicoquímicos se puede visualizar posibles valores atípicos según el software Rstudio en el parámetro de la demanda química de oxígeno, sin embargo, la prueba de los valores z (Anexo 10) indican que los datos se encuentran entre el rango de -3 y 3 por lo que no se consideran valores atípicos.

Figura 6

Boxplot Sin Valores Atípicos de la Base de Datos Para el Cálculo del ISQA Periodo 2013-2019

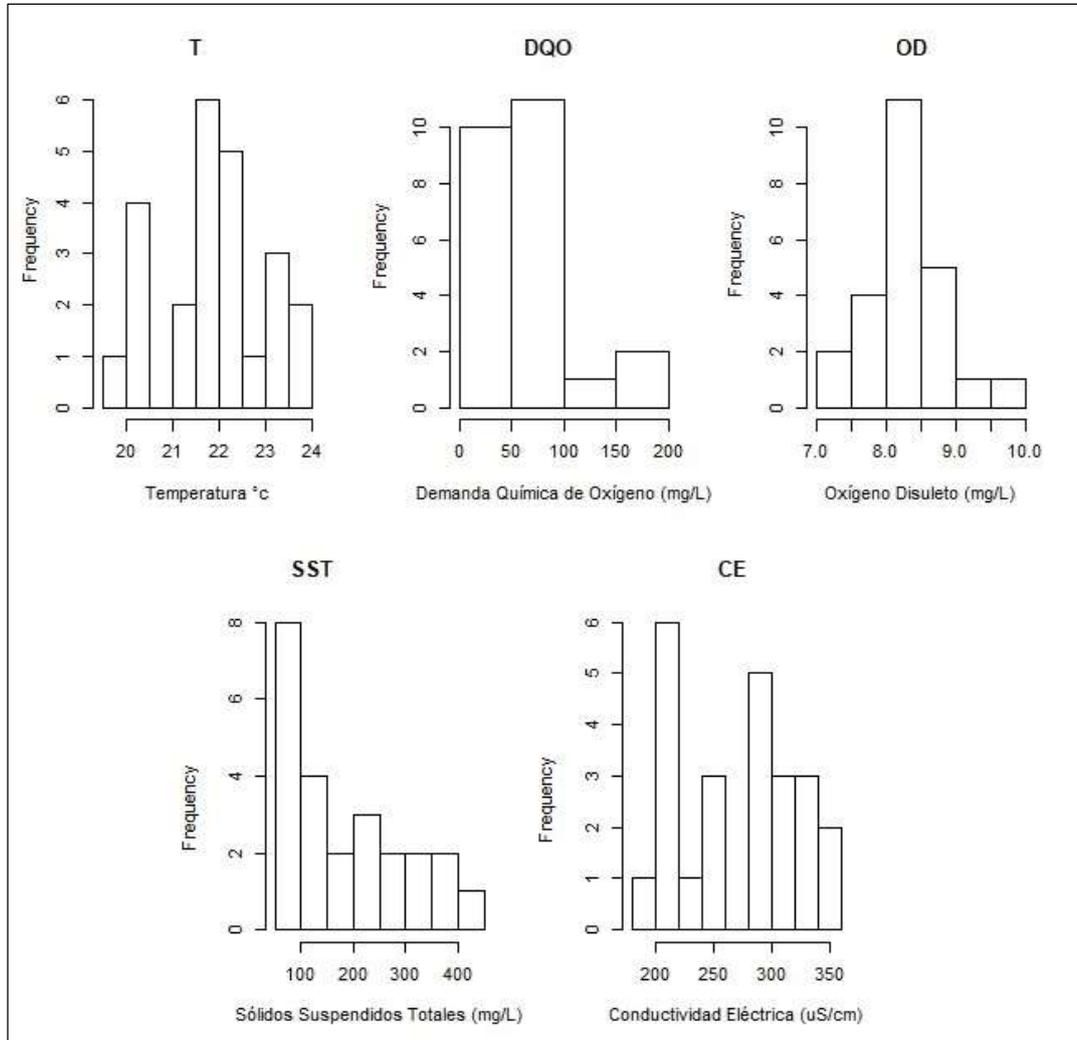


Elaborado por: Germania Iza

En la Figura 7 se observa los histogramas de frecuencia de la base de datos definitiva para el cálculo del ISQA.

Figura 7

Histogramas de Frecuencia Sin Valores Atípicos de la Base de Datos Para el Cálculo del ISQA Periodo 2013-2019



Elaborado por: Germania Iza

8.5.6.2. Características Hidroclimáticas

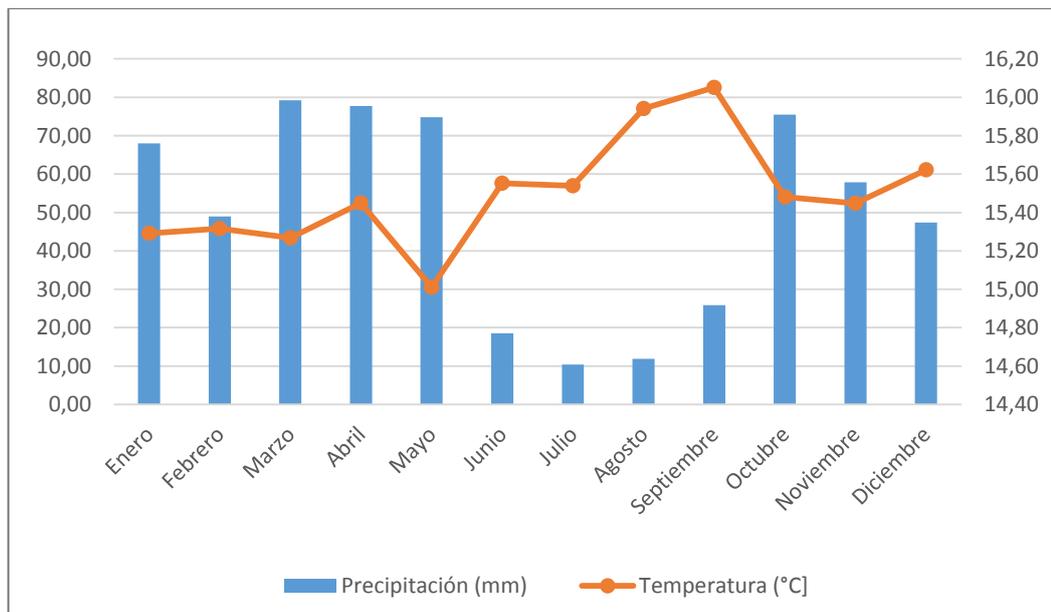
La información de precipitación, temperatura y evaporación fue tomada del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) de la estación meteorológica Tomalon Tabacundo (M1094) ubicada en el cantón Pedro Moncayo a 18 km del río Guayllabamba (Anexo 16) se analizaron datos del periodo 2013-2019.

8.5.6.2.1. Precipitación

La zona de estudio se caracteriza por presentar una distribución de precipitaciones bimodal, siendo las épocas de lluvia en los meses de enero a mayo; octubre a diciembre y época seca en los meses de junio a septiembre (Ver figura 8).

Figura 8

Régimen pluviométrico de la Estación Tomalón Tabacundo en el periodo 2013-2019



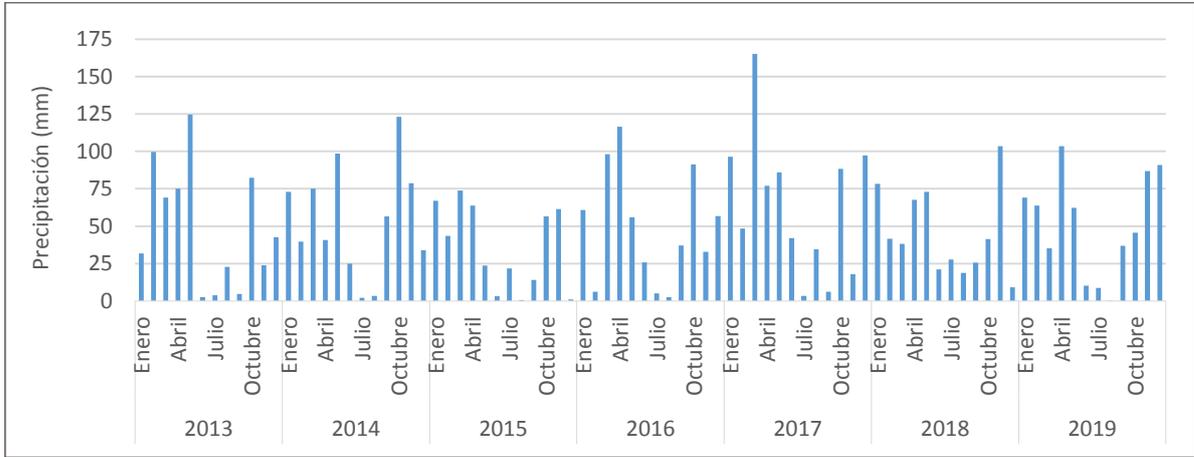
Fuente: Tomado de INAMHI

Elaborado por: Germania Iza

El valor promedio multianual de precipitaciones es de 49,69 mm, su valor máximo corresponde al mes de marzo del 2017 con 165,20 mm mientras que el valor mínimo se presenta el en mes de agosto del 2019 con 0,3 mm (ver Figura 9).

Figura 9

Precipitación Media Mensual de la Estación Tomalon Tabacundo en el periodo 2013-2019



Fuente: Tomado de INAMHI

Elaborado por: Germania Iza

8.5.6.2.2. Temperatura

El valor medio multianual de temperatura para la estación Tomalon Tabacundo es de 15,59 °C, el valor máximo corresponde al mes de diciembre del 2015 con 17,2 °C y el registro mínimo se presenta en mayo del 2013 con 14°C (ver Figura 10).

Figura 10

Temperatura Media Mensual de la Estación Tomalon Tabacundo en el Periodo 2013-2019



Fuente: Tomado de INAMHI

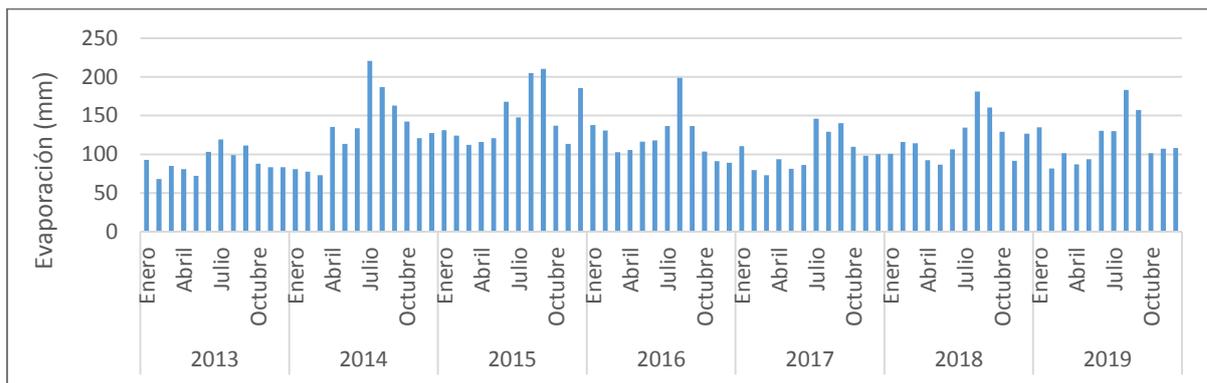
Elaborado por: Germania Iza

8.5.6.2.3. Evaporación

El valor medio multianual de evaporación para la estación Tomalon Tabacundo es de 119,11 mm, el valor máximo corresponde al mes de julio del 2014 con 220,80 mm y el valor mínimo se presenta en febrero del 2013 con 68,10 mm (ver Figura 11).

Figura 11

Evaporación Media Mensual de la Estación Tomalon Tabacundo en el Periodo 2013-2019



Fuente: Tomado de INAMHI

Elaborado por: Germania Iza

8.5.6.3. Parámetros fisicoquímicos

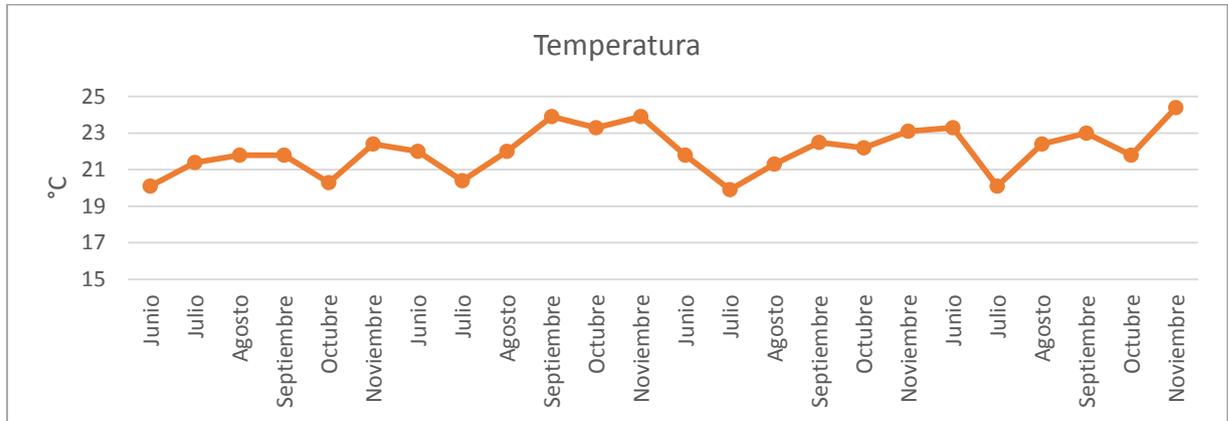
A continuación, se muestra el análisis de variación de los parámetros fisicoquímicos durante los años 2013, 2016, 2018 y 2019 de los meses junio hasta noviembre:

8.5.6.3.1. Temperatura

El valor promedio multianual de la temperatura fue de 22,05 °C, el valor máximo de temperatura se presentó en el mes de noviembre del año 2019 con 24,4 °C y el valor mínimo fue en el mes de julio del año 2018 con 19,9 °C. Se puede considerar que el aumento de temperatura no está relacionado con los aspectos climáticos de la zona de estudio ya que el mes de noviembre corresponde a la época de lluvia por ende la temperatura del agua debería bajar mientras que el mes de julio corresponde a la época seca y la temperatura debería ser alta entonces se puede asumir que el cambio de temperatura se produjo por vertidos de aguas residuales calientes de industrias (Ver Figura 12).

Figura 12

Variación de la Temperatura del Río Guayllabamba del periodo 2013-2019



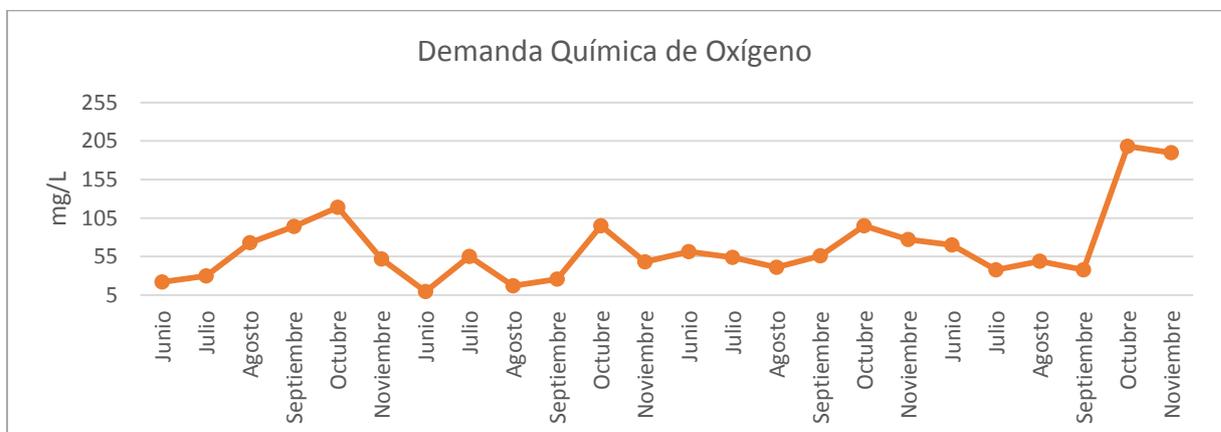
Elaborado por: Germania Iza

8.5.6.3.2. Demanda Química de Oxígeno

El valor promedio multianual de la demanda química de oxígeno fue de 67,00 mg/L, el valor máximo se presentó en el mes de octubre del año 2019 con 198 mg/ y el valor mínimo en el mes de junio del año 2016 con 9,5 mg/L. Se evidencia que las concentraciones más altas de la demanda química de oxígeno se presentó en el mismo año del valor máximo de temperatura por lo que puede deberse a vertidos de agua residual (Ver Figura 13).

Figura 13

Variación de la Demanda Química de Oxígeno del río Guayllabamba periodo 2013-2019



Elaborado por: Germania Iza

8.5.6.3.3. Sólidos Suspendidos Totales

El valor promedio multianual de sólidos suspendidos totales fue de 181,34 mg/L, el valor máximo se presentó en el mes de octubre del año 2013 con 437,00 mg/L y el valor mínimo en los meses de julio y agosto del año 2016 con 50 mg/L. Los sólidos suspendidos se refieren a la presencia de partículas en suspensión de origen orgánico e inorgánico en el recurso. Se presume que las altas concentraciones de sólidos suspendidos totales en el río se deben a los arrastres de sedimentos por precipitaciones ya que octubre pertenece a un mes lluvioso (Ver Figura 14).

Figura 14

Variación de los Sólidos Suspendidos Totales del río Guayllabamba periodo 2013-2019



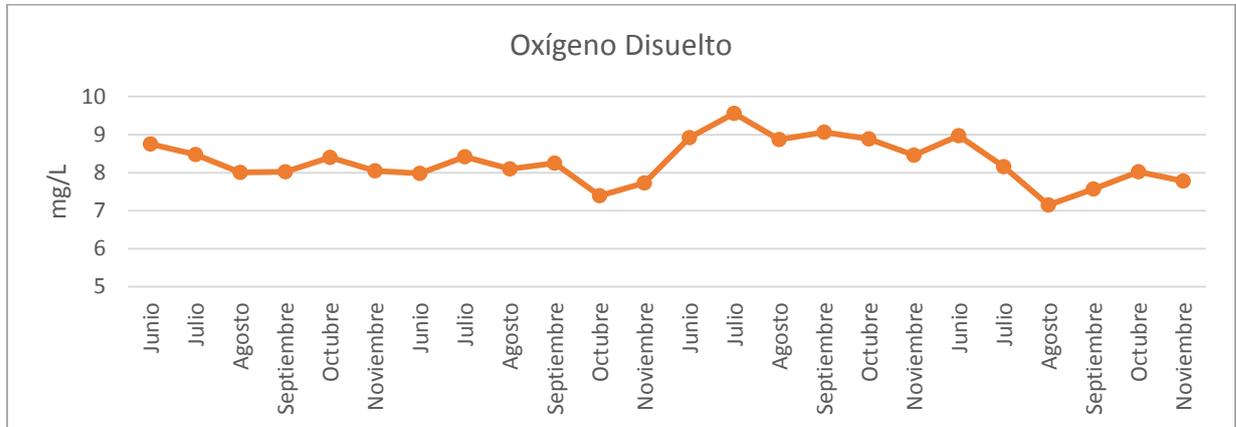
Elaborado por: Germania Iza

8.5.6.3.4. Oxígeno disuelto

El valor promedio multianual del oxígeno disuelto fue de 8,29 mg/L, el valor máximo se presentó en el mes de julio del año 2018 con 9,56 mg/L y el valor mínimo en el mes de agosto del año 2019 con 7,15 mg/L. El oxígeno disuelto varía de acuerdo a la temperatura, por lo tanto, el valor máximo de temperatura se presentó en el año 2019 mientras que el oxígeno disuelto disminuyó y fue en ese año que se observó el valor mínimo, el valor mínimo de temperatura fue el año 2018 y se evidencia la mayor concentración de oxígeno disuelto. Demostrando así que a mayor temperatura menor oxígeno disuelto y menor temperatura mayor oxígeno disuelto (Ver Figura 15).

Figura 15

Variación del Oxígeno Disuelto del río Guayllabamba periodo 2013-2019



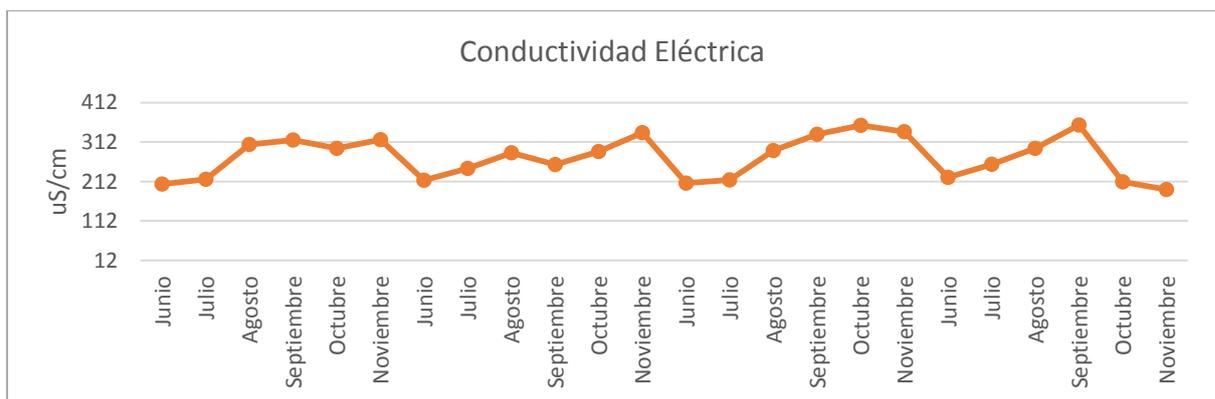
Elaborado por: Germania Iza

8.5.6.3.5. Conductividad Eléctrica

El promedio multianual de conductividad eléctrica fue de 273,05 uS/cm, el valor máximo se presentó en el mes de septiembre del año 2019 con 355,18 uS/cm y el valor mínimo en el mes de noviembre del año 2019 con 191,78 uS/cm (Ver Figura 16).

Figura 16

Variación del Conductividad Eléctrica del río Guayllabamba del periodo 2013-2019



Elaborado por: Germania Iza

8.5.6.4. Índice Simplificado de Calidad de Agua (ISQA)

El cálculo del ISQA se realizó mediante la aplicación de las ecuaciones de la tabla 6 y los resultados fueron analizados con la tabla 7. Los resultados obtenidos del análisis ISQA en el periodo 2013-2019 se muestran en la tabla 10 donde se observa, que el mes de julio mantiene su calidad de regular en casi todos los años excepto en el año 2018 y los meses octubre y noviembre se mantienen en calidad mala en todos los 4 años, en el año 2013, 2018 y 2019 la calidad del agua es mala debido a que se encuentra dentro de los valores de 25 a 50 lo que representa un uso de agua para recreación por contacto indirecto, refrigeración y de riego en cultivos muy resistentes. Solamente el año 2016 obtuvo una calidad de agua regular por encontrarse dentro de los valores 50 a 70, su uso corresponde para agua de riego, agua industrial y agua potable con tratamiento especial, se encuentra en dicha categoría ya que es el año que presenta menor concentraciones de demanda química de oxígeno y sólidos suspendidos totales. el cálculo del ISQA se puede visualizar en el Anexo 17.

Tabla 10

Calidad del Agua del Río Guayllabamba Según los Resultados del ISQA

Año	Mes	ISQA	Calidad	ISQA ANUAL	Calidad
2013	Junio	68,36	Regular	40,62	Mala
	Julio	50,25	Regular		
	Agosto	38,75	Mala		
	Septiembre	52,36	Regular		
	Octubre	38,24	Mala		
2016	Noviembre	43,37	Mala	50,82	Regular
	Junio	66,92	Regular		
	Julio	58,65	Regular		
	Agosto	68,68	Regular		
	Septiembre	49,16	Mala		
2018	Octubre	38,87	Mala	39,12	Mala
	Noviembre	45,97	Mala		
	Junio	41,09	Mala		
	Julio	45,55	Mala		
	Agosto	53,21	Regular		
2019	Septiembre	54,75	Regular	43,21	Mala
	Octubre	37,35	Mala		
	Noviembre	36,19	Mala		
	Junio	49,86	Mala		
	Julio	54,93	Regular		
	Agosto	54,04	Regular		
	Septiembre	55	Regular		
	Octubre	38,81	Mala		
	Noviembre	40,11	Mala		

Elaborado por: Germania Iza

En la tabla 11 según el ISQA para la época lluviosa comprendida entre los meses octubre y noviembre, el agua del río Guayllabamba presentó una mala calidad en todos los años analizados, el cálculo del ISQA se puede visualizar en el Anexo 18.

Tabla 11

Calidad del Agua del Río Guayllabamba Según los Resultados del ISQA Para la Época Lluviosa en el Periodo 2013-2019

Año	Temperatura (°C)	Demanda Química de Oxígeno (mg/L)	Sólidos Suspendedos Totales (mg/L)	Oxígeno disuelto (mg/L)	Conductividad Eléctrica (uS/cm)	ISQA	Calidad
2013	21,35	85,5	305	8,23	307,02	37,06	Mala
2016	23,6	71,5	153,18	7,56	311,75	34,32	Mala
2018	22,65	86	348	8,68	346,15	36,76	Mala
2019	23,1	194	282,06	7,9	201,24	38,17	Mala

Elaborado por: Germania Iza

En la tabla 12 según el ISQA para la época seca comprendida entre los meses de junio hasta septiembre, arroja como resultado una mala calidad de agua para los años 2013 y 2018 mientras que los años 2016 y 2019 presentan una calidad Regular, el cálculo del ISQA se puede visualizar en el Anexo 19. Se esperaba que la calidad de agua para la época lluviosa sea mejor que la época seca ya que se conoce que a mayor caudal los contaminantes se diluyen y mejora la calidad del agua.

Tabla 12

Calidad del Agua del Río Guayllabamba Según los Resultados del ISQA Para la Época Seca en el Periodo 2013-2019

Año	Temperatura (°C)	Demanda Química de Oxígeno (mg/L)	Sólidos Suspendedos Totales (mg/L)	Oxígeno disuelto (mg/L)	Conductividad Eléctrica (uS/cm)	ISQA	Calidad
2013	21,28	54,75	153	8,32	261,44	46,38	Mala
2016	22,08	26,88	112,75	8,19	249,83	58,14	Regular
2018	21,38	53,13	192,38	9,1	261,66	42,62	Mala
2019	22,2	48,75	86,5	7,96	282,3	52,09	Regular

Elaborado por: Germania Iza

8.5.6.5.Consolidación de la base de datos de la serie de tiempo

A continuación, en la tabla 13 se tiene la base de datos de la serie de tiempo completa y sin valores atípicos (Anexo 15) correspondientes al periodo 2016-2019 para efectuar el respectivo pronóstico.

Tabla 13

Base de Datos de la Serie de Tiempo de los Parámetros Físicoquímicos del Río Guayllabamba

Periodo 2016-2019

Año	Meses	T (°C)	DQO (mg/L)	SST (mg/L)	OD (mg/L)	CE a 18°C (uS/cm)
2016	Enero	23,75	6,75	105,00	7,71	276,49
	Febrero	23,50	10,50	59,00	7,72	253,70
	Marzo	24,60	48,00	573,33	7,69	143,62
	Abril	23,70	22,50	648,00	8,00	145,68
	Mayo	22,85	16,00	383,50	7,99	180,34
	Junio	22,00	9,50	119,00	7,98	215,00
	Julio	20,40	55,00	50,00	8,42	245,10
	Agosto	22,00	17,00	50,00	8,10	284,66
	Septiembre	23,90	26,00	232,00	8,25	254,56
	Octubre	23,30	95,00	178,50	7,39	288,10
	Noviembre	23,90	48,00	125,00	7,73	335,40
	Diciembre	20,90	108,00	547,00	8,39	265,74
2017	Enero	21,90	51,00	178,00	8,42	178,62
	Febrero	23,30	134,00	301,00	8,47	170,28
	Marzo	26,10	85,00	462,00	9,08	138,80
	Abril	21,00	110,00	270,00	8,61	116,44
	Mayo	20,80	40,00	844,00	8,77	176,47
	Junio	20,25	70,00	349,00	7,63	206,49
	Julio	19,97	85,00	250,00	7,06	221,49
	Agosto	19,70	100,00	52,00	6,50	236,50
	Septiembre	22,50	50,00	93,00	7,35	322,50
	Octubre	22,42	66,00	361,50	8,27	315,34
	Noviembre	23,33	61,60	283,50	7,87	300,80
	Diciembre	22,93	37,60	142,50	7,40	260,24
2018	Enero	21,40	82,00	630,00	8,26	160,73
	Febrero	21,15	75,50	599,00	8,36	180,99
	Marzo	20,90	69,00	568,00	8,47	201,24
	Abril	24,10	85,00	184,00	7,91	188,34
	Mayo	21,30	69,00	199,00	8,10	210,70
	Junio	21,80	61,50	258,50	8,92	208,12
	Julio	19,90	54,00	318,00	9,56	215,86
	Agosto	21,30	41,00	132,00	8,87	290,68
	Septiembre	22,50	56,00	61,00	9,06	331,96
	Octubre	22,20	95,00	318,00	8,89	354,32
	Noviembre	23,10	77,00	378,00	8,46	337,98
	Diciembre	22,70	47,00	190,00	7,96	292,40

Año	Meses	T (°C)	DQO (mg/L)	SST (mg/L)	OD (mg/L)	CE a 18°C (uS/cm)
2019	Enero	21,83	66,42	340,20	8,01	143,05
	Febrero	21,57	61,16	323,46	8,11	161,08
	Marzo	21,60	73,00	500,00	9,00	176,64
	Abril	22,20	21,00	137,00	9,25	169,51
	Mayo	21,40	55,00	150,00	9,61	196,08
	Junio	23,30	70,00	98,00	8,97	222,74
	Julio	20,10	38,00	121,00	8,16	255,42
	Agosto	22,40	49,00	56,00	7,15	295,84
	Septiembre	23,00	38,00	71,00	7,57	355,18
	Octubre	21,80	198,00	360,00	8,02	210,70
	Noviembre	24,40	190,00	204,12	7,78	191,78
	Diciembre	23,15	38,07	102,60	7,72	260,24

Fuente: Tomado de la Secretaria del ambiente del Distrito metropolitano de Quito

Elaborado por: Germania Iza

8.5.6.5.1. Análisis de los datos de la serie de tiempo

En la tabla 14 se encuentra el análisis estadístico de la base de datos de la serie de tiempo del periodo 206-2019.

Tabla 14

Estadísticos Descriptivos de la Base de Datos de la Serie de Tiempo

Parámetros Fisicoquímicos	Media	Mediana	Moda	Desviación estándar	Error estándar medio	Mínimo	Máximo
T (°C)	22,21	22	23,3	1,56	0,28	19,7	26,1
DQO (mg/L)	59,05	58,25	85	32,11	5,68	6,75	134
SST (mg/L)	298,3	254,3	50	210	37,1	50	844
OD (mg/L)	8,1	8,1	8,42	0,62	0,11	6,5	9,56
CE (uS/cm)	224,7	215,4	260,24	58,4	10,3	116,4	335,4

Elaborado por: Germania Iza

8.5.6.6. Pronóstico de serie de tiempo

Los cálculos del pronóstico se pueden visualizar en el Anexo 20 en donde se utilizó las ecuaciones 8, 9 y 10 del método matemático de descomposición de series de tiempo y se obtuvo los siguientes resultados de para cada parámetro fisicoquímico:

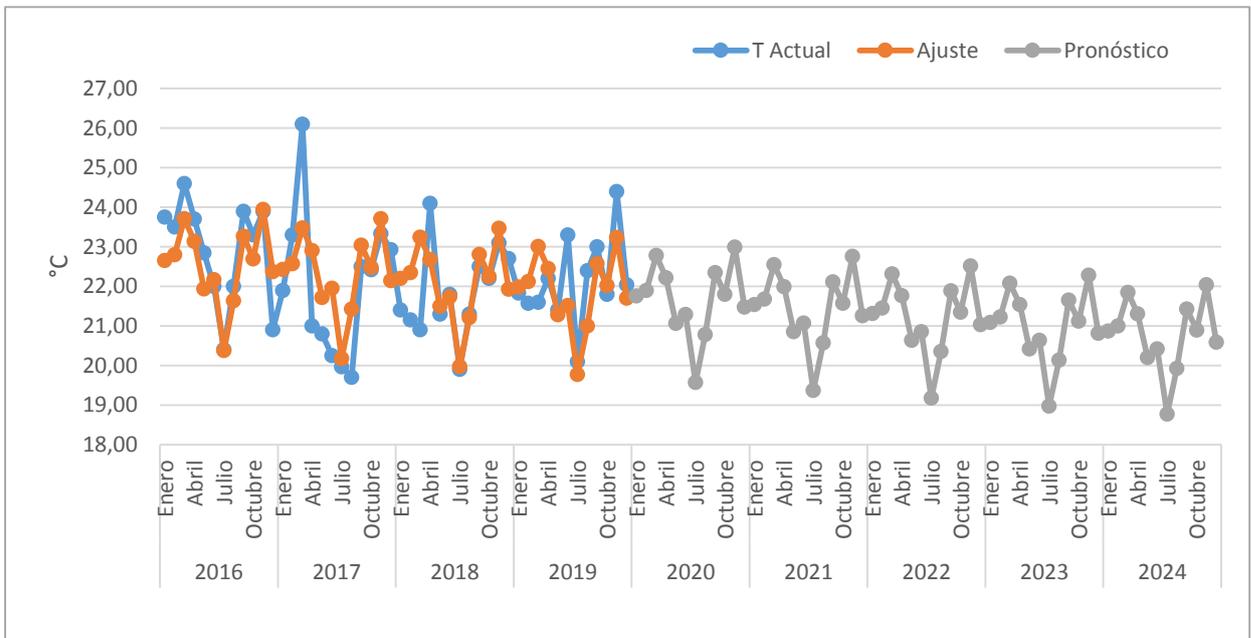
8.5.6.6.1. Temperatura

Con el método de descomposición se obtuvo el pronóstico de temperatura para el periodo 2020-2024 un total de 60 datos pronosticados con un 3,30% de error absoluto, según el pronóstico el valor promedio interanual de temperatura será de 21,22 °C y su valor máximo será de 23 °C en el mes de noviembre del año 2020 y el valor mínimo será de 18,77°C en el mes de julio del año 2024 (ver Figura 17). El descenso de temperatura se atribuye al fenómeno meteorológico de las heladas ya que el DMQ es vulnerable a los impactos ambientales climáticos como lo menciona Purkey *et al* (2014) en su estudio “Análisis de Vulnerabilidad Climática para los sectores prioritarios del Distrito Metropolitano de Quito”:

En el que realizaron una proyección al año 2050 del cambio mensual en temperaturas mínimas y máximas para las estaciones Cotopaxi-Clirsen, Papallacta y Tomalón-Tabacundo con datos históricos del periodo 1960 - 2006, donde se pronostica que las temperaturas aumenten de 4°C a 5°C hasta finales del siglo.

Figura 17

Variación de Temperatura del Río Guayllabamba Para el Periodo 2020-2024



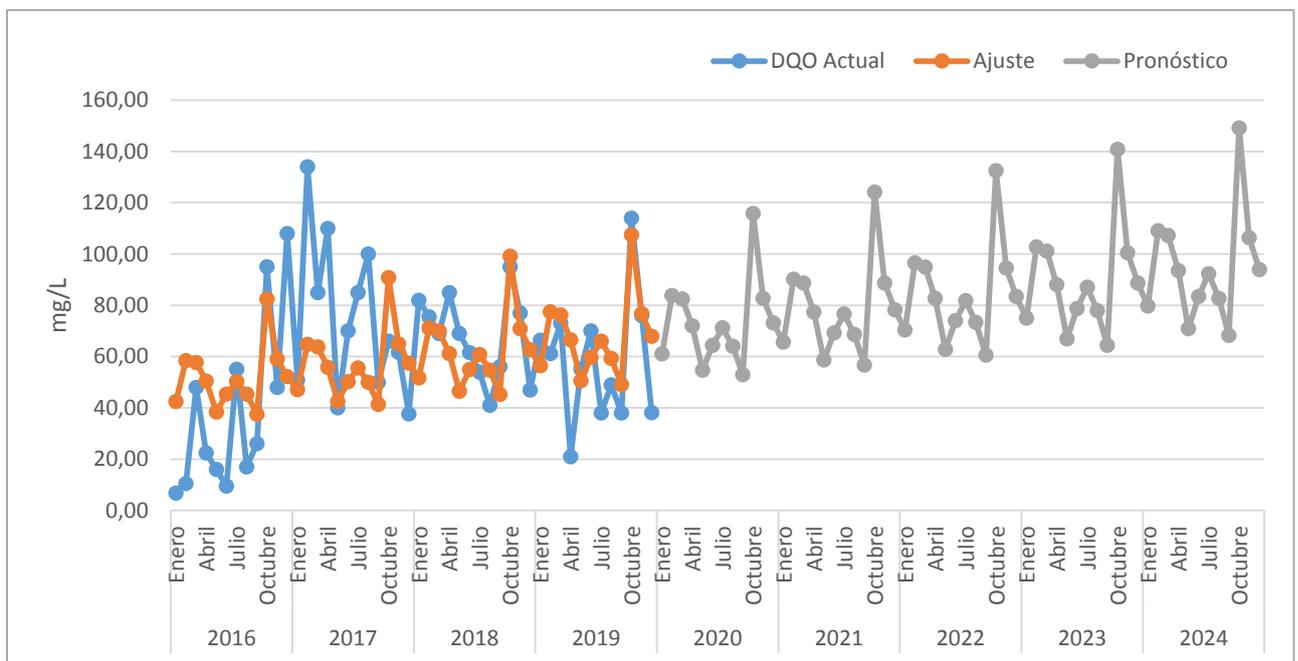
Elaborado por: Germania Iza

8.5.6.6.2. Demanda Química de Oxígeno

Con el método de descomposición se obtuvo el pronóstico de demanda química de oxígeno para el periodo 2020-2024 un total de 60 datos pronosticados con un 63,35% de error absoluto, según el pronóstico el valor promedio interanual de demanda química de oxígeno será de 83,95 mg/L y su valor máximo será de 149,21 mg/L en el mes de octubre del año 2024 y el valor mínimo será de 52,89 mg/L en el mes de septiembre del año 2020 (ver Figura 18).

Figura 18

Variación de Demanda Química de Oxígeno del Río Guayllabamba Para el Periodo 2020-2024



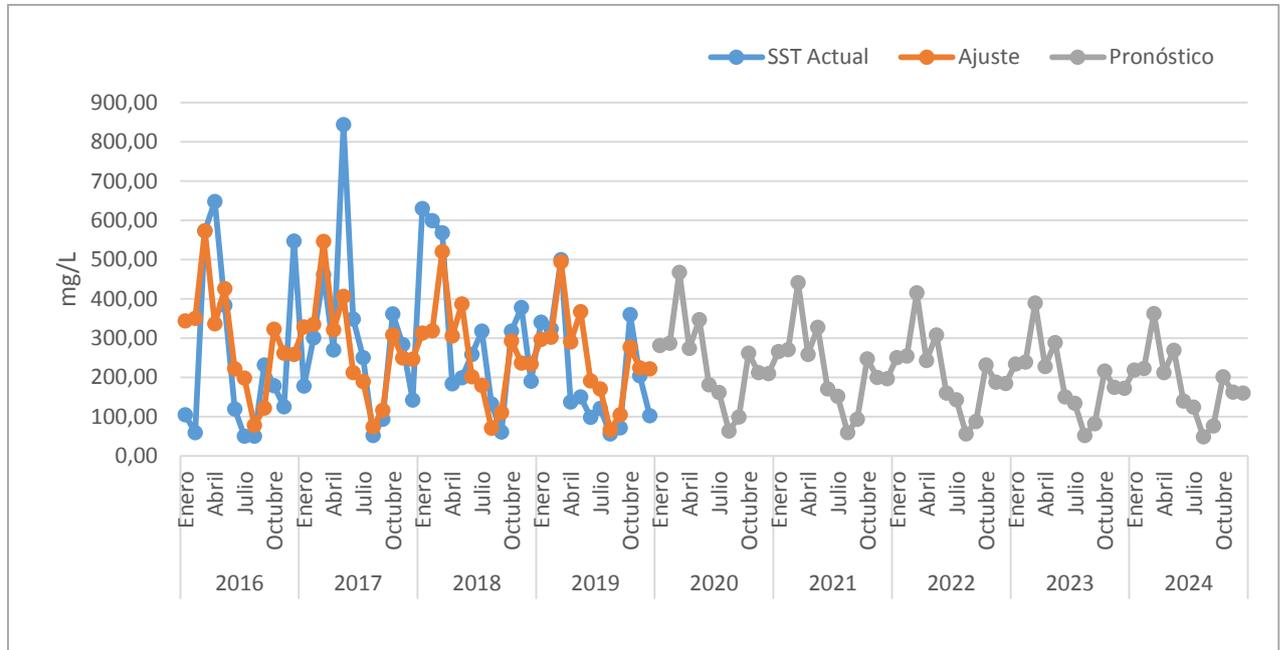
Elaborado por: Germania Iza

8.5.6.6.3. Sólidos Suspendedos Totales

Con el método de descomposición se obtuvo el pronóstico de sólidos suspendidos totales para el periodo 2020-2024 un total de 60 datos pronosticados con un 64,14 % de error absoluto, según el pronóstico el valor promedio interanual de sólidos suspendidos totales será de 210,11 mg/L y su valor máximo será de 467,85 mg/L en el mes de marzo del año 2020 y el valor mínimo será de 48,52 mg/L en el mes de agosto del año 2024 (ver Figura 19).

Figura 19

Variación de Sólidos Suspendedos Totales del Río Guayllabamba Para el Periodo 2020-2024



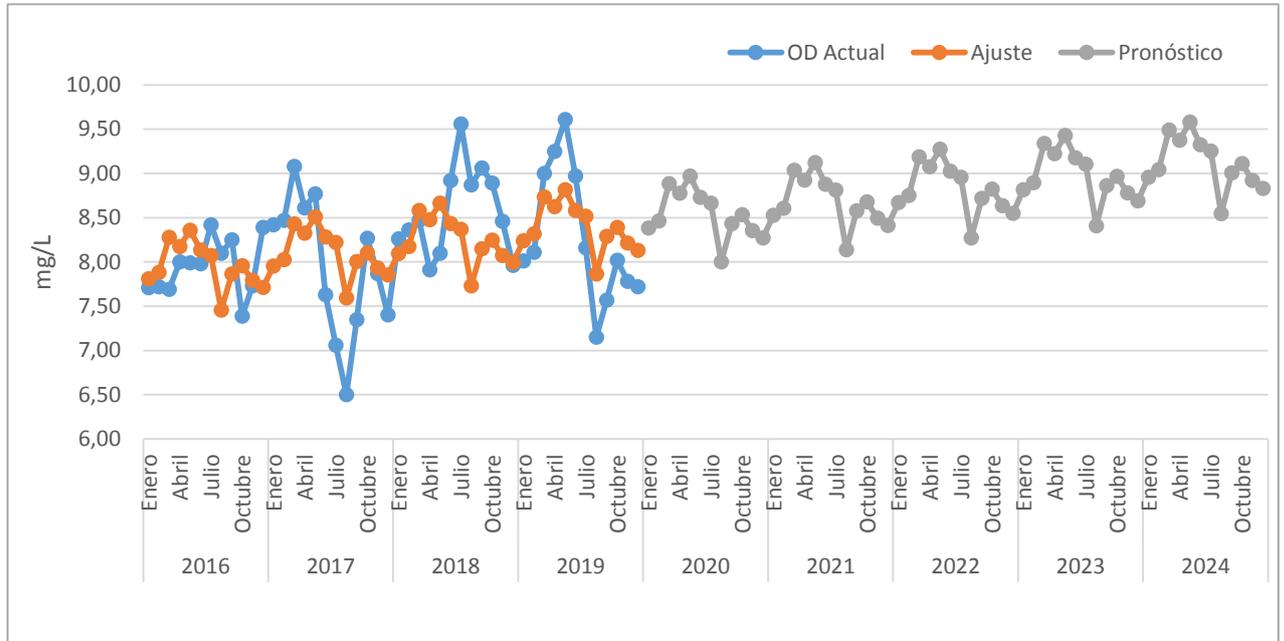
Elaborado por: Germania Iza

8.5.6.6.4. Oxígeno Disuelto

Con el método de descomposición se obtuvo el pronóstico de oxígeno disuelto para el periodo 2020-2024 un total de 60 datos pronosticados con un 5,76 % de error absoluto, según el pronóstico el valor promedio interanual de oxígeno disuelto será de 8,83 mg/L y su valor máximo será de 9,58 mg/L en el mes de mayo del año 2024 y el valor mínimo será de 8,00 mg/L en el mes de agosto del año 2020 (ver Figura 20).

Figura 20

Variación de Oxígeno Disuelto del Río Guayllabamba Para el Periodo 2020-2024



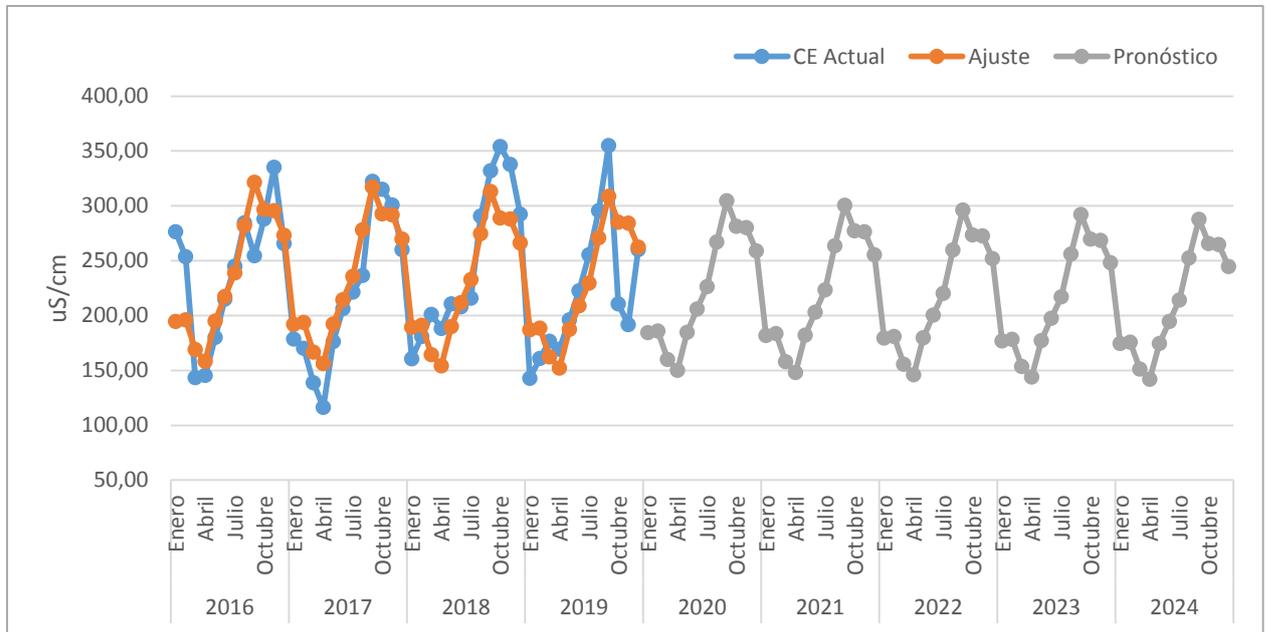
Elaborado por: Germania Iza

8.5.6.6.5. Conductividad Eléctrica

Con el método de descomposición se obtuvo el pronóstico de conductividad eléctrica para el periodo 2020-2024 un total de 60 datos pronosticados con un 12,27 % de error absoluto, según el pronóstico el valor promedio interanual de conductividad eléctrica será de 218,14 uS/cm y su valor máximo será de 304,70 uS/cm en el mes de septiembre del año 2020 y el valor mínimo será de 142,06 uS/cm en el mes de abril del año 2024 (ver Figura 21).

Figura 21

Variación de Conductividad Eléctrica del Río Guayllabamba Para el Periodo 2020-2024



Elaborado por: Germania Iza

8.5.6.7. Índice Simplificado de calidad de agua para el periodo 2020-2024

Los valores mensuales del ISQA se reportan en el Anexo 21, en la Tabla 15 se encuentra el cálculo de los errores del pronóstico. En donde se tiene 12,52% del error absoluto porcentual promedio, un valor de 6,74 de desviación media absoluta y un valor de 96,02 error cuadrático medio. A ciencia cierta no se puede decir si un pronóstico es bueno o malo sin embargo se puede realizar un control de pronóstico mediante una señal de rastreo (SR) que es un indicador de cuan bien se ajustan las predicciones de un pronóstico al comportamiento real de la variable. La señal de rastreo se calcula como la suma de la desviación acumulada (suma corriente de errores del pronóstico), dividida entre la desviación media absoluta (MAD) (Salazar, 2019). Entonces en nuestro estudio Se tiene un MAD de 6,744 y MAD Acumulado de 168,594 obteniendo una SR de 0,04 MAD por lo tanto la señal de rastreo del estudio se encuentra dentro del rango aceptables de control del pronóstico, en general se busca que la Señal de Rastreo varíe en el rango comúnmente aceptado de $[-4,4]$ MAD (GEO, 2014).

Tabla 15*Cálculo de los Errores del Pronóstico de la Calidad de Agua del Río Guayllabamba*

Año	Mes	Número de mes	ISQA REAL	ISQA AJUSTE	MAPE	MAD	MAD Acumulado	MSD
2016	Junio	1	68,36	45,09	0,340	23,268	23,268	541,381
	Julio	2	50,25	45,28	0,099	4,965	28,233	24,652
	Agosto	3	38,75	53,74	0,387	14,994	43,227	224,833
	Septiembre	4	52,36	50,67	0,032	1,686	44,914	2,844
	Octubre	5	38,24	36,00	0,059	2,242	47,155	5,024
	Noviembre	6	43,37	35,38	0,184	7,992	55,147	63,871
2017	Junio	7	66,92	42,62	0,363	24,308	79,455	590,855
	Julio	8	58,65	41,00	0,301	17,654	97,108	311,660
	Agosto	9	68,68	53,24	0,225	15,446	112,554	238,574
	Septiembre	10	49,16	50,35	0,024	1,191	113,745	1,418
	Octubre	11	38,87	36,54	0,060	2,331	116,076	5,432
	Noviembre	12	45,97	36,00	0,217	9,968	126,044	99,366
2018	Junio	13	41,09	44,39	0,080	3,304	129,349	10,919
	Julio	14	45,55	44,34	0,027	1,210	130,559	1,465
	Agosto	15	53,21	52,73	0,009	0,482	131,040	0,232
	Septiembre	16	54,75	50,02	0,086	4,731	135,771	22,381
	Octubre	17	37,35	37,08	0,007	0,265	136,036	0,070
	Noviembre	18	36,19	36,11	0,002	0,079	136,115	0,006
2019	Junio	19	49,86	44,04	0,117	5,821	141,936	33,881
	Julio	20	54,93	45,56	0,171	9,371	151,306	87,810
	Agosto	21	54,04	52,22	0,034	1,823	153,129	3,322
	Septiembre	22	55,00	49,69	0,097	5,308	158,437	28,174
	Octubre	23	38,81	37,63	0,030	1,182	159,619	1,396
	Noviembre	24	40,11	37,88	0,056	2,232	161,850	4,981
					12,528	6,744	168,594	96,023

Elaborado por: Germania Iza

Se determinó el ISQA de acuerdo a los valores de pronóstico obtenidos del resultado del método de descomposición de series de tiempo, los cálculos del ISQA se muestra en el Anexo 22, 23 y 24. Los valores del ISQA del periodo 2020 - 2024 indican una calidad de agua mala por encontrarse dentro de los valores de 25 a 50 (ver Tabla 16). Para la época lluviosa los valores del ISQA indican una calidad mala (ver Tabla 17), mientras que para la época seca una calidad mala para los años 2020 – 2022 pero los años 2023 y 2024 indican una calidad regular (ver Tabla 18).

Tabla 16*Calidad del Agua del Río Guayllabamba Según ISQA Para el Periodo 2020-2024*

Año	Temperatura (°C)	Demanda Química de Oxígeno (mg/L)	Sólidos Suspendedos Totales (mg/L)	Oxígeno disuelto (mg/L)	Conductividad Eléctrica (uS/cm)	ISQA	Calidad
2020	21,67	73,18	237,07	8,54	224,3	39,64	Mala
2021	21,44	78,56	223,59	8,68	221,22	41,62	Mala
2022	21,22	83,95	210,11	8,83	218,14	47,28	Mala
2023	21,00	89,34	196,63	8,97	215,06	44,63	Mala
2024	20,78	94,72	183,15	9,12	211,99	46,14	Mala

Elaborado por: Germania Iza

Tabla 17*Calidad del Agua del Río Guayllabamba Según ISQA Para el Periodo 2020-2024 en Época Lluviosa*

Año	Temperatura (°C)	Demanda Química de Oxígeno (mg/L)	Sólidos Suspendedos Totales (mg/L)	Oxígeno disuelto (mg/L)	Conductividad Eléctrica (uS/cm)	ISQA	Calidad
2020	22	78,18	292,61	8,58	210,86	40,07	Mala
2021	21,77	83,95	276	8,73	207,97	40,63	Mala
2022	21,55	89,72	259,39	8,87	205,08	41,2	Mala
2023	21,32	95,48	242,78	9,02	202,18	41,78	Mala
2024	21,1	101,25	226,16	9,16	199,29	43,5	Mala

Elaborado por: Germania Iza

Tabla 18*Calidad del Agua del Río Guayllabamba Según ISQA Para el Periodo 2016-2024 en Época Seca*

Año	Temperatura (°C)	Demanda Química de Oxígeno (mg/L)	Sólidos Suspendedos Totales (mg/L)	Oxígeno disuelto (mg/L)	Conductividad Eléctrica (uS/cm)	ISQA	Calidad
2020	21	63,17	125,98	8,46	251,17	47,21	Mala
2021	20,78	67,79	118,77	8,6	247,72	48,28	Mala
2022	20,57	72,42	111,56	8,74	244,28	48,37	Mala
2023	20,35	77,05	104,35	8,89	240,83	50,45	Regular
2024	20,14	81,67	97,14	9,03	237,38	51,78	Regular

Elaborado por: Germania Iza

9. LA NARRACIÓN DEL CASO

Los parámetros fisicoquímicos del río Guayllabamba a través de los años 2013, 2016, 2018 y 2019 según las gráficas de variación indican que los valores de temperatura oscilaron entre 19,9 - 24,4°C con un promedio de 22,05°C, la temperatura es un factor importante que influye mucho en la vida acuática y el estado de los ecosistemas (Quilumbaqui, 2017). La variación en la temperatura del agua superficial afecta la solubilidad de sales, contenido de OD, tasa de biodegradación orgánica de los materiales y otros parámetros fisicoquímicos (Gil *et al.*, 2018). La legislación ecuatoriana ambiental en la Tabla 2 del Anexo 1 del libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA) sobre criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y de estuarios sugiere un valor máximo de 20 °C, por lo tanto, el parámetro de temperatura supera los límites máximos permisibles de la normativa nacional. La temperatura esta inversamente relacionada con el OD, al aumentar la temperatura el oxígeno disuelto disminuye. Los valores de oxígeno disuelto oscilaron entre 7,15 - 9,56 mg/L con un promedio de 8,29 mg/L, según la norma ecuatoriana el valor de OD no debe ser menor a 6 mg/L ni al 80% de saturación por lo que cumple con lo establecido en la legislación. Los valores de conductividad eléctrica en el estudio oscilaron entre 191,78 - 355,18 uS/cm con un promedio de 273,05 uS/cm, la conductividad eléctrica está relacionada con la cantidad de sólidos disueltos, en su mayoría compuestos iónicos de calcio y magnesio, estos elementos varían con las estaciones que incluyen fenómenos como las precipitaciones, además de la sedimentación, la temperatura tiene un efecto directo sobre el aumento de la conductividad, ya que cuando la temperatura aumenta, la viscosidad del agua disminuye, lo que provoca una mayor conductividad (Rubio *et al.*, 2014). Los valores de los sólidos suspendidos totales oscilaron entre 50 - 437 mg/L con un promedio de 181,34 mg/L, los SST tienen su origen en las aguas residuales y erosión del suelo, el incremento de los niveles de SST hace que un cuerpo de agua pierda la capacidad de soportar la diversidad de la vida acuática ya que causan turbiedad en el agua y reducen la penetración de la luz solar, impidiendo el desarrollo de la vegetación acuática natural (CNDH, 2018). Es importante mencionar que los parámetros conductividad eléctrica y sólidos suspendidos totales no están incluidos en la norma ecuatoriana para la preservación de la vida acuática y silvestre. Por lo que se consideró comparar el parámetro de SST según la escala de clasificación de la calidad del agua de la Comisión Nacional del Agua de México (CONAGUA, 2010) en donde la concentración de SST del estudio se encuentran dentro del rango 150 a 400 mg/L que indica una mala calidad de aguas superficiales por descargas de

aguas residuales crudas con alto contenido de material suspendido. Los valores de la demanda química de oxígeno oscilaron entre 9,5 - 198 mg/L con un promedio de 67 mg/L, La DBO es una medida de la cantidad de oxígeno que necesitan los microorganismos para descomponer la materia orgánica en el agua, así que un cuerpo de agua con niveles de DBO por encima de 100 mg/L está muy contaminado y sugiere la presencia de materia orgánica (Sardiñas *et al.*, 2006). Para la Comisión Nacional del Agua de México las aguas superficiales que presenten niveles de concentración de entre 40 a 200 mg/L se consideran aguas contaminadas con presencia de aguas residuales crudas, principalmente de origen municipal. Sin embargo, la legislación ambiental ecuatoriana considera como valor límite máximo a 40 mg/L para la conservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, en consecuencia, el río Guayllabamba superan el límite establecido que puede ser debido a descargas de efluentes de aguas servidas o actividades agrícolas, problema que sucede por la existencia de parroquias con ausencia del servicio de alcantarillado, sumado a las dificultades en el tratamiento de aguas residuales por parte del sector industrial y productivo que provoca el incumplimiento de las normas ambientales y la contaminación del sistema hídrico (Quinga, 2017).

Los valores del ISQA calculados para el río Guayllabamba variaron de 40,60 para el año 2013; 50,82 para el año 2016; 39,12 para el año 2018 y 43,21 para el año 2019 (Tabla 10), según la clasificación de la calidad de agua del ISQA (Tabla 7) los valores de los años 2013, 2018 y 2019 se encuentran dentro del rango 25 a 50 lo que indica una calidad de agua mala y que puede ser utilizada con fines de recreación por contacto indirecto, refrigeración y de riego en cultivos muy resistentes, no obstante el año 2016 presenta una calidad de agua regular por encontrarse dentro del rango de 50 a 70 y su uso corresponde para agua de riego, industrial y potable con tratamiento especial. En la Tabla 10 también se aprecia que el mes de julio mantiene su calidad de regular en casi todos los años excepto en el año 2018 y los meses octubre y noviembre se mantienen en calidad mala en todos los 4 años. Con el análisis de la variable precipitación media del periodo 2013-2019 de la estación Toalombo Tabacundo se identificó las dos estaciones de la zona de estudio: la época lluviosa que corresponde a los meses de octubre hasta mayo y la época seca los meses de junio hasta septiembre (Figura 8). Los resultados del ISQA para la época lluviosa (Tabla 11) variaron de 34,32 a 38,17 que indica una mala calidad del agua, existe una notable diferencia entre las calidades del agua en época lluviosa y seca, teniendo en cuenta que en la época seca los resultados del ISQA (Tabla 12) varían de 42,62 a 58,14, los años 2013 y 2018 corresponden a una calidad de agua mala por el contrario los años 2016 y 2019 muestran una calidad de agua regular, lo cual es curioso debido

a que en la época lluviosa la dilución de contaminantes se eleva por la presencia de mayor caudal incrementando la calidad del agua, en el presente estudio dicho criterio no se cumple, de manera que se atribuye que el aumento de las precipitaciones produjo escorrentías fuertes que ocasionaron el acarreo natural de sedimentos, así como también por la inestabilidad de los taludes que bordean los cauces como lo menciona la secretaria del ambiente del DMQ en su Plan Ambiental Distrital 2015 - 2025 el arrastre de sedimentos es una de las razones de la alteración de la calidad del agua de los ríos de Quito.

El pronóstico obtenido en este estudio con el modelo seleccionado tuvo bajos errores para los parámetros OD, CE y temperatura sin embargo los parámetros DQO Y SST tuvieron valores de error mayores al 60% debido a la distribución de sus datos. Torres (2018) menciona que el comportamiento de no normalidad es muy común en datos ambientales. Según Ponce (2015) el método de descomposición es generalmente muy bueno y rápido de implementar para producir pronósticos de mediano y largo plazo y se requiere datos de dos o tres años para su aplicación. A partir de los valores de pronóstico realizados para los parámetros fisicoquímicos se tiene un valor de 12,52% de error absoluto porcentual promedio para el pronóstico del índice simplificado de calidad del agua (Tabla 15), en general los resultados de la calidad del agua para el río Guayllabamba dentro de 5 años tienen una exactitud de pronóstico de 87,48%. El valor del ISQA para el año 2020 es de 39,64; para el año 2021 de 41,62; para el año 2022 de 47,28; para el año 2023 de 44,63 y para el año 2024 de 46,14 que indican una calidad mala para los 5 años (Tabla 16), de la misma manera en la época lluviosa presenta una calidad mala con valores ISQA que varían de 40,07 a 43,50 (Tabla 17) y en la época seca los valores varían de 47,21 a 51,78 y se constata que solo en los años 2023 y 2024 se tiene una calidad regular (Tabla 18). Por lo tanto, el uso óptimo del agua es la de recreación por contacto indirecto, refrigeración y riego para cultivos resistentes.

10. LECCIONES Y RECOMENDACIONES

10.1. Lecciones

- En este estudio fueron utilizadas diferentes herramientas estadísticas en la etapa de consolidación de la base de datos para el cálculo del ISQA como para la del pronóstico. Su uso permitió comprender el comportamiento de los datos que a su vez ayudo a realizar la depuración, llenado de vacío de información y tratamiento de datos atípicos.
- El índice simplificado de calidad de agua del río Guayllabamba mostró que los años 2013, 2018 y 2019 se encontraron en una calidad de agua mala apta para uso de recreación para navegación, refrigeración y riego en cultivos muy resistentes, mientras que el año 2016 indicó una calidad de agua regular apta para agua de riego, industrial y agua potable con tratamiento especial.
- La época de lluvia en la zona de estudio se produce en los meses de octubre hasta mayo y la época seca en los meses de junio hasta septiembre.
- En general, la calidad del agua en el río Guayllabamba en la época de lluvias se mantuvo en una mala calidad, mientras que en la época seca los años 2016 y 2019 les correspondió una calidad de agua regular. La diferencia de calidad de agua en época lluviosa y seca se atribuye a las precipitaciones y se considera que el río Guayllabamba presenta contaminación de agua por sedimentos.
- Según la Tabla 2 del Anexo 1 del libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente sobre criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, el parámetro de oxígeno disuelto se encuentra dentro del límite máximo permisible pero la demanda química de oxígeno y temperatura presentaron valores por encima de la normativa.
- Los resultados de la calidad del agua para el río Guayllabamba dentro de 5 años tienen un error absoluto porcentual promedio de 12,52% y una exactitud de pronóstico de 87,48%.
- Con el resultado del pronóstico se concluye que la calidad del agua del río Guayllabamba para el período 2020-2024 será mala y su uso apto corresponde a la de

recreación por contacto indirecto por ejemplo para navegación, refrigeración y riego para cultivos muy resistentes.

10.2. Recomendaciones

- Se recomienda incrementar puntos de muestreo en los ríos considerados en la Red Metropolitana de Monitoreo del Recurso Hídrico y a su vez incluir análisis de los parámetros microbiológicos para conocer con mayor precisión la calidad del cuerpo hídrico.
- Se recomienda realizar un estudio a profundidad en el río Guayllabamba que permita identificar distintas fuentes de contaminación tanto químicas como microbiológicas, así como también, la utilización de ICAS como herramientas de apoyo en la gestión del recurso hídrico para promover su conservación y protección.
- Para la recuperación del recurso hídrico se recomienda implementar un sistema de tratamiento de aguas residuales municipales e industriales y programas de forestación a lo largo del río, con el objetivo de recuperar la cobertura vegetal y disminuir los problemas de contaminación por sedimentos sobre el recurso.
- Para realizar pronósticos de series de tiempo, se recomienda la aplicación de distintos modelos de series de tiempo y elegir el que mejor ajuste tenga y el que presente menor error para mejor resultado de proyección.
- Se recomienda tomar en cuenta que el pronóstico realizado en el presente estudio es un proceso estocástico cuyo comportamiento es probabilístico mas no determinístico ya que para el cálculo de dicho pronóstico no se tomó en cuenta los factores o eventos climáticos.

11. BIBLIOGRAFÍA

- Ajcabul, A. (2016). *Análisis Comparativo Entre El Índice Simplificado De Calidad Del Agua (Isqa) Y El Índice De Calidad Del Agua (Ica), Aplicados Al Monitoreo De Aguas Superficiales En El Río La Quebrada, El Frutal* [Universidad De San Carlos De Guatemala]. <http://emecanica.ingenieria.usac.edu.gt/sitio/wp-content/subidas/6ARTÍCULO-III-INDESA-SIE.pdf>
- Akoteyon, I. S., Omotayo, A. O., Soladoye, O., & Olaoye, H. O. (2011). Determination of water quality index and suitability of Urban River for municipal water supply in Lagos-Nigeria. *European Journal of Scientific Research*, 54(2), 263–271.
- Alonso, J. (2013a). *Evaluación de calidad de las aguas del arroyo aguapey (Paraguay) mediante el empleo de macro invertebrados como bioindicadores* [Universidad Nacional de Itapúa]. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Alonso, J. (2013b). Evaluación de calidad de las aguas del arroyo Aguapey mediante el empleo del Índice Simplificado de Calidad de Agua. *Revista Sobre Estudios e Investigaciones Del Saber Académico*, 7(7), 9–13.
- Álvarez, J., Panta, J., Ayala, C., & Acosta, E. (2008). Calidad integral del agua superficial en la cuenca hidrológica del río Amajac. *Informacion Tecnologica*, 19(6), 21–32. <https://doi.org/10.1612/inf.tecnol.3975it.07>
- Arroyo, V., Millán, C., Laurel, A., & Aguilar, A. (2012). *Acoplamiento de mecanismos de DBO en un modelo CFD para cuerpos de agua*. <http://repositorio.imta.mx/bitstream/handle/20.500.12013/1499/HC-1209.1.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Astudillo, W. (2016). *Falta de control en la contaminación del agua provocado por los desechos tóxicos de las industrias al Río Machángara y la vulneración de los derechos ambientales* [Universidad Central del Ecuador]. <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/8244/1/T-UCE-0013-Ab-428.pdf>
- Bolaños, J. (2017). Gestor Integral del Recurso Hídrico, un experto necesario ante la vulnerabilidad socio-natural Integral. *Revista Electrónica de Las Sedes Regionales de La Universidad de Costa Rica*, 18, 113–144.

- Bolaños, J., Cordero, G., & Segura, G. (2017). Determinación de nitritos, nitratos, sulfatos y fosfatos en agua potable como indicadores de contaminación ocasionada por el hombre, en dos cantones de Alajuela (Costa Rica). *Revista Tecnología En Marcha*, 30(4), 15. <https://doi.org/10.18845/tm.v30i4.3408>
- Bonifaz, E. (2018). *Evaluación de la contaminación fecal de origen humano y animal en la cuenca alta del río Guayllabamba mediante indicadores virales*. Universidad de las Americas.
- Boyacioglu, H. (2007). Development of a water quality index based on a European classification scheme. *Water SA*, 33(1), 101–106.
- Bustamante, I., Sanz, J., Goy, J., F, G., Encabo, J., & Mateos, J. (2002). Estudio de la calidad de las aguas superficiales en los espacios naturales del sur de las provincias de Salamanca y Ávila. Aplicaciones del índice ISQA. *Geogaceta*, 103–106.
- Caho, C., & López, E. (2017). Determinación del Índice de Calidad de Agua para el sector occidental del humedal Torca-Guaymaral empleando las metodologías UWQI y CWQI. *Producción + Limpia*, 12(2), 35–49. <https://doi.org/10.22507/pml.v12n2a3>
- Campaña, R., & Gualoto, E. (2015). *Evaluación físico-química y microbiológica de la calidad del agua de los ríos Machángara y Monjas de la red hídrica del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ)*. Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito.
- CNDH. (2018). *Estudio sobre protección de ríos, lagos y acuíferos desde la perspectiva de los derechos humanos*.
- CONAGUA. (2010). *Estadísticas del Agua en México, edición 2010* (S. de M. A. y R. Naturales (ed.); 2010th ed.).
- Del Pezo, N. (2019). *Propuesta de fitorremediación de coliformes totales y Escherichia coli mediante la implementación de islas flotantes en aguas negras*. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.90.4.644>
- Echanique, P. (2008). Recursos naturales en el Distrito Metropolitano de Quito. In Q. Direccion Metropolitana Ambiental (Ed.), *Atlas ambiental : Distrito Metropolitano de Quito 2008* (p. 19). https://www.usfq.edu.ec/programas_academicos/colegios/cociba/quitoambiente/temas_ambientales/recursos_naturales/Documents/DC1AC1_El_agua_en_el_DMQ.pdf

- Enamorado, J., & Navarro, D. del C. (2017). Perspectivas ambientales contemporáneas. In *Pedagogía y Saberes* (Universida, Issue 7).
- FAO. (2019). *Escasez de agua: Uno de los mayores retos de nuestro tiempo* | *FAO Stories* | *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. <http://www.fao.org/fao-stories/article/es/c/1185408/>
- Fernández, N., Ramírez, A., & Solano, F. (2004). Physico-Chemical Water Quality Indices - a comparative review -. *Revista de La Facultad de Ciencias Básicas*, 2(1), 19–30.
- Frausto, J. (2009). *Pronósticos de ventas para la administración estratégica de los recursos en una empresa del sector automotriz*. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey.
- Galvín, R. (2008). Características Físicas, Químicas Y Biológicas De Las Aguas. *Módulo de Contaminación Del Agua*, 37.
- GEO. (2014). *Interpretación de la Señal de Rastreo de un Pronóstico*. <https://www.gestiondeoperaciones.net/proyeccion-de-demanda/interpretacion-de-la-senal-de-rastreo-de-un-pronostico-de-demanda/amp/?fbclid=IwAR2MR7fQ3PNylzgc5izZIbwIQTUP1d90-BuAgO17nUQSaaE8F9Z2J3cuci8>
- Gil-Marín, J. A., Vizcaino, C., & Montaña-Mata, N. J. (2018). Evaluación de la calidad del agua superficial utilizando el índice de calidad del agua (ICA). Caso de estudio: Cuenca del Río Guarapiche , Monagas , Venezuela. *Anales Científicos*, 79(1), 111–119.
- González, V., Caicedo, Q., & Aguirre, N. (2013). Aplicación de los índices de calidad de agua NSF, DINIUS y BMWP en la quebrada La Ayurá, Antioquia, Colombia. *Gestión y Ambiente*, 16(1), 97–107.
- Hernández, S. (2015). *Evaluación de la calidad físico-química y bacteriológica del arroyo Coyopolan del municipio de Ixhuacán de los Reyes., Veracruz*. Universidad Veracruzana Facultad De Ciencias Químicas.
- Isch, E. (2011). Contaminación de las Aguas y Políticas para Enfrentarla. In *Foro de los Recursos Hídricos* (Vol. 1). <https://bit.ly/3bKvXWa>
- Jaya, F. (2017). *Estudio de los sólidos suspendidos en el agua del rio Tabacay y su vinculación con la cobertura vegetal y usos del suelo en la microcuenca* [Universidad de Cuenca].

[http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/28542/1/Trabajo de titulacio n.pdf](http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/28542/1/Trabajo%20de%20titulacio%20n.pdf)

- López, J. (2018). *Análisis de series de tiempo, Pronóstico de demanda de uso de aeropuertos en Argentina al 2022*. Instituto Tecnológico de Buenos Aires.
- López, S. (2018). *Validación del método respirométrico para determinar DBO5 en aguas residuales y naturales en el Distrito Metropolitano de Quito*. Escuela Politécnica Nacional.
- Mancera, P. (2017). *Obtención de un índice de calidad de agua (ICA) para las ciencias que forman parte de la zona inundable del río Magdalena en el Departamento del Atlántico-Colombia, a través de la aplicación del método Delphi*. Universidad Internacional de Andalucía.
- Mancheno, G. (2015). *Evaluación de la calidad del agua en la quebrada Huarmiyacu del cantón Urcuquí, provincia de Imbabura para el prediseño de la planta de potabilización de agua para consumo humano de las poblaciones de san Blas y Urcuquí*. Escuela Politécnica Nacional.
- Martinez, A. (2006). Métodos de análisis físicos y espectrofométricos para el análisis de aguas residuales. *Revista Tecnología En Marcha*, 19(2), 31–40.
- Martinez, I. (2009). *Análisis de variables macroeconómicas de el salvador: periodo 1995 al segundo trimestre de 2009*. Universidad de El Salvador.
- Martínez, M., & Osorio, A. (2018). Validación de un método para el análisis de color real en agua. *Revista de La Facultad de Ciencias*, 7(1), 143–155. <https://doi.org/https://doi.org/10.15446/rev.fac.cienc.v7n1.68086>
- MDMQ. (2014). *Diagnóstico Estratégico del Distrito Metropolitano de Quito*. http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdiagnostico/1760003410001diagnostico_15-11-2014.pdf
- Muzo, M. (2017). *Correlación geológica, geoquímica Y Geofísica de la subcuenca hidrográfica del río Guayllabamba 0° – 1°N: Cordillera Occidental* [Universidad Central del Ecuador]. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- ONU-DAES. (2014). *Calidad del agua | Decenio Internacional para la Acción “El agua, fuente de vida” 2005-2015*. <https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/quality.shtml>

- ONU. (2019). *Informe Mundial de Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2019*.
- Ortiz, J. (2016). *Análisis de la serie temporal “ Uso de Suelos ” de la empresa Corporación de Recursos Naturales S.A.* Universidad San Francisco de Quito.
- Pacheco, V., Servín, M., Miguel, S., & Edith, V. (2019). *Plan de Gestión Integral de Recursos Hídricos para la ciudad de Encarnación*.
- Peña, D. (2019). *Efectos de la contaminación de aguas residuales del lago de Morona Cocha en la salud de la población Ribereña- Iquitos-2018*. Universidad Nacional de la Amazonía Peruana.
- Ponce, J. (2015). *Comparación entre varios métodos de pronósticos basados en series de tiempo para predecir la demanda de placas digitales en empresas del sector gráfico quiteño desde el año 2009 hasta el año 2015*. Escuela Politécnica Nacional.
- Pozo, E. (2013). *Plan de trabajo consejo metropolitano 2019-2023*.
<https://doi.org/10.4067/S0717-73482005000300009>
- Distrito Metropolitano de Quito : Resultados del Análisis de Vulnerabilidad Climática para los sectores prioritarios ., (2014).
- Quilumbaqui, C. (2017). *Determinación de la concentración de elementos mayores en dieciocho ríos de la provincia de Pichincha*, [Universidad central del Ecuador].
<http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/7047/1/135154.pdf>
- Quinga, M. (2017). *Contaminación del Río Machángara y el Derecho al Buen Vivir de los habitantes del Barrio de Guápulo del DMQ en el 2015*. Universidad Central del Ecuador.
- Rodríguez, C. (2015). *Demanda Química De Oxígeno por refluo cerrado y volumetría*.
<http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Demanda+Química+de+Oxígeno..pdf/20030922-4f81-4e8f-841c-c124b9ab5adb>
- Rubio, H., Ortiz, R., Quintana, R., Saucedo, R., Ochoa, J., & Rey, N. (2014). Índice De Calidad De Agua (Ica) En La Presa La Boquilla En Chihuahua, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 1(2), 139–150.
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-90282014000200005%0Ahttp://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-

90282014000100008&lng=es&nrm=iso&tlng=en%0Ahttp://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S20

- Sabio, I. (2000). *Evaluación de la calidad y la cantidad de agua de la microcuenca El Capiro en Güinope, Honduras*. Universidad de Zamorano.
- Salange, E. (2019). *Evaluación espacio temporal de la calidad del agua del río Monjas, sectores Pomasqui y San Antonio de Pichincha mediante ICA-NSF*. Univeridad Central del Ecuador.
- Salazar, B. (2019). *Control del pronóstico - Ingeniería Industrial Online*. https://www.ingenieriaindustrialonline.com/pronostico-de-la-demanda/control-del-pronostico/?fbclid=IwAR2nAtrRKQxPTkaQJaSWIB_ao4UME9SjN03Ct6N0xoxgpX0jl-HNiPXX-yQ
- Samboni, N., Carvajal, Y., & Escobar, J. (2007). Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua. *Revista Ingeniería e Investigación*, 27(3), 172–181.
- Saravia, P. (2016). *Determinación de los índices de calidad del agua (ICA-NSF E ISCA) para consumo humano de los ríos Teocinte y Acatán, que abastecen la planta de tratamiento de agua Santa Luisa zona 16, Guatemala*. Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Sardiñas, O., Chiroles, S., Fernández, M., Hernández Yusaima, & Pérez, A. (2006). Evaluación físico-química y microbiológica del agua de la presa El Cacao (Cotorro, Cuba). *Sanid. Ambient. Higiene y Sanidad Ambiental*, 6(6), 202–206.
- Sarmiento, E. M. (2008). Predicción con series de tiempo y regresión. *Panorama*, 2(4), 36–58.
- Secretaría del Ambiente. (2016). *Plan Ambiental Distrital 2015 - 2025*.
- SENATUR. (2017). *Metodología de proyecciones a corto plazo de llegada de turistas para el año 2017*.
- Serna, J. (2018). *Propuesta de índice de calidad del agua, como herramienta para el desarrollo sustentable en cuerpos de aguas superficiales de la ciudad de Bogotá*. Universidad Distrital Francisco José De Caldas.
- SNET. (2016). Índice De Calidad Del Agua General “ICA.” In *Servicio Nacional de Estudios Territoriales* (Vol. 1, Issue 503, p. 14).

- Solís, Y., Zúñiga, L., & Mora, D. (2018). La conductividad como parámetro predictivo de la dureza del agua en pozos y nacientes de Costa Rica. *Revista Tecnología En Marcha*, 31(1), 35–46. <https://doi.org/10.18845/tm.v31i1.3495>
- Terán, L. (2019). *Determinación del índice simplificado de calidad del agua (ISQA) de la zona urbana de la parroquia de Pacto provincia Pichincha*. Universidad Tecnológica Equinoccial.
- Toasa, F. (2012). *Validación de los métodos de ensayo para fenoles, tensosactivos, solidos suspendidos y total de solidos disueltos (TDS)*. Universidad Central del Ecuador.
- Torres, C. (2018). *Planteamiento de una metodología para el cálculo de un índice de calidad del agua para el río Machángara, cuenca alta del río Guayllabamba*. Escuela Politécnica Nacional.
- Torres, P., Cruz, H., Patiño, C., & Jameth, P. (2009). Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. Una revisión crítica. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 8(15), 79–94.
- Velásquez, J., Fonnegra, Y., & Alonso, F. (2013). Pronóstico de series de tiempo con redes neuronales regularizadas y validación cruzada. *Vínculos*, 10(1), 267–279.
- Villacrés, D., Guevara, P., Tamayo, L., Balarezo, A., Narváez, C., & Morocho, D. (2016). Relleno de series anuales de datos meteorológicos mediante métodos estadísticos en la zona costera e interandina del Ecuador , y cálculo de la precipitación media. *Revista Idesia*, 34(3), 81–90.
- Villavicencio, P. J. (2010). *Introducción a Series de Tiempo*. <https://doi.org/10.1177/0266666915575167>
- Zimmels, Y., Kirzhner, F., & Malkovskaja, A. (2006). Application of *Eichhornia crassipes* and *Pistia stratiotes* for treatment of urban sewage in Israel. *Journal of Environmental Management*, 81(4), 420–428. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2005.11.014>

12. ANEXOS

Anexo 1

Aval de Traducción del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi



CENTRO DE IDIOMAS

AVAL DE TRADUCCIÓN

En calidad de Docente del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal **CERTIFICO** que: La traducción del resumen del proyecto de titulación al Idioma Inglés presentado por la Señorita Egresada de la Carrera de **INGENIERÍA EN MEDIO AMBIENTE** de la **FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES**, **IZA QUISPE GLORIA GERMANIA** cuyo título versa **"ESTUDIO DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO GUAYLLABAMBA, UBICADO DENTRO DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO EN EL PERIODO 2013-2019"**, lo realizó bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo a la peticionaria hacer uso del presente certificado de la manera ética que estime conveniente.

Latacunga, septiembre del 2020.

Atentamente,

Lic. Pacheco Pruna Edison Mg.
DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS
C.C. 050261735-0



Anexo 2

Curriculum Vitae



FORMACIÓN ACADÉMICA

- 2020 **Ingeniería en Medio Ambiente**, *Universidad Técnica de Cotopaxi*, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales.
- 2013 **Bachiller en Ciencias Químico Biológicas**, *Unidad Educativa Particular Mixta San Francisco de Asís*
- 2010 **Educación Básica**, *Unidad Educativa Luis Cordero*.

EXPERIENCIA LABORAL

- 2019 **Pasante**, *Departamento de Gestión Ambiental y Servicios Públicos*, Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Salcedo.

CAPACITACIÓN Y FORMACIÓN

- 2020 **Certificado**, *IV Congreso Internacional de Ambiente y Agricultura en la Era del Desarrollo Sostenible*, Instituto Azteca de Formación Empresarial de México, Asociación Ecuatoriana de Carreras Ambientales y Afines.
- 2020 **Certificado**, *Especialista en Sistemas de Información Geográfica*, AsulGIS centro de Capacitaciones.
- 2020 **Certificado**, *Inducción en Seguridad y Salud Ocupacional*, Altair del Ecuador.

Anexo 3

Tabla de Parámetros Físicoquímicos del Río Guayllabamba Comparados con Parámetros de Diferentes Índices de Calidad de Agua

Parámetros del río Guayllabamba	Unidad	ICA NSF 1970	ICA Dinius 1987	ICA ROJAS 1991	ICAUCA 2004	UWQI 2007	ISQA 1982
DQO	mg/L						X
DBO	mg/L	X	X	X	X	X	X
SST	mg/L				X		
SDT	mg/L	X		X	X		
CE	uS/cm		X				X
pH		X	X	X	X	X	
Color	UnitPt-Co		X		X		
Temperatura	°C	X	X				X
Al	mg/L						
Tensoactivos	mg/L						
Sulfatos	mg/L						
Aceites y Grasas	mg/L						
TPH	mg/L						
Cn	mg/L					X	
Cd	mg/L					X	
Cu	mg/L						
Cr	mg/L						
Zn	mg/L						
Mn	mg/L						
Ni	mg/L						
Pb	mg/L						
Hg	mg/L					X	
As	mg/L					X	
Turbidez	NTU	X		X	X		
OD	% y mg/L	X	X	X	X	X	X
Parámetros no disponibles							
Nitratos		---	---			---	
Coliformes fecales		---	---	---			
Coliformes totales					---	---	
Fosfatos		---					
Cloruros			---				
Alcalinidad			---				
Dureza			---				
Nitrógeno Total					---		
Fosforo Total					---	---	
Fluoruro						---	
Selenio						---	
Cumple		6	6	5	7	7	5
No Cumple		3	6	1	3	5	0
Total Parámetros		9	12	6	10	12	5

Elaborado por: Germania Iza

Anexo 4

Base de Datos Inicial

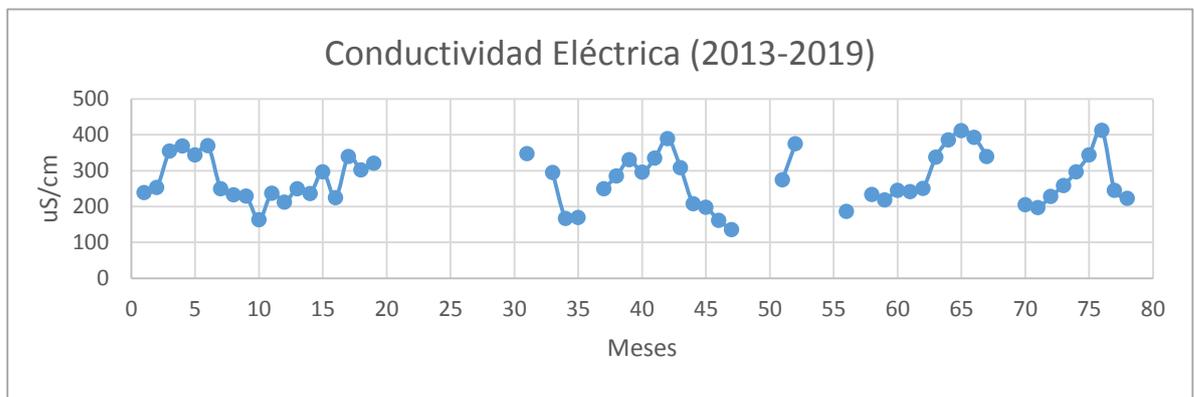
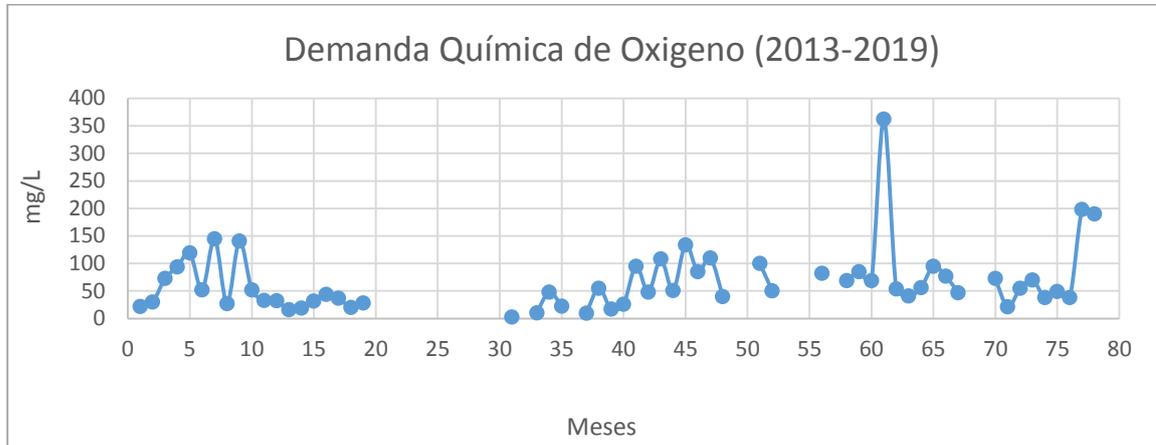
Año	Meses	Número de mes	T (°C)	DQO (mg/L)	SST (mg/L)	OD (mg/L)	CE (uS/cm)
2013	Junio	1	20,1	22	77	8,75	239
	Julio	2	21,4	30	271	8,48	253
	Agosto	3	21,8	73	208	8,01	355
	Septiembre	4	21,8	94	56	8,02	369
	Octubre	5	20,3	119	437	8,4	344
	Noviembre	6	22,4	52	173	8,05	370
	Diciembre	7	20,3	145	592	8,73	250
	Enero	8	20,3	27	197	8,9	233
	Febrero	9	20,9	141	76	8,68	229
	Marzo	10	19,6	52	336	8,79	163,1
	Abril	11	21,9	33	11		237
	Mayo	12	20,4	32	85		212
2014	Junio	13	29	16	68		250
	Julio	14	20,6	19			236
	Agosto	15	21,2		97		297
	Septiembre	16	19	44	516		225
	Octubre	17	22,8	37	148		340
	Noviembre	18	21,5	20	114		302
	Diciembre	19					
	Enero	20					
	Febrero	21					
	Marzo	22					
	Abril	23					
	Mayo	24					
2015	Junio	25					
	Julio	26					
	Agosto	27					
	Septiembre	28					
	Octubre	29					
	Noviembre	30					
	Diciembre	31	24	3	151	7,7	348
	Enero	32					
	Febrero	33	23,5	10,5	59	7,72	295
	Marzo	34	24,6	48	573,33	7,69	167
	Abril	35	23,7	22,5	648	8	169,4
	Mayo	36					
2016	Junio	37	22	9,5	119	7,98	250
	Julio	38	20,4	55	50	8,42	285
	Agosto	39	22	17	50	8,1	331
	Septiembre	40	23,9	26	232	8,25	296
	Octubre	41	23,3	95	868	7,39	335
	Noviembre	42	23,9	48	125	7,73	390
	Diciembre	43	20,9	108	547	8,39	309

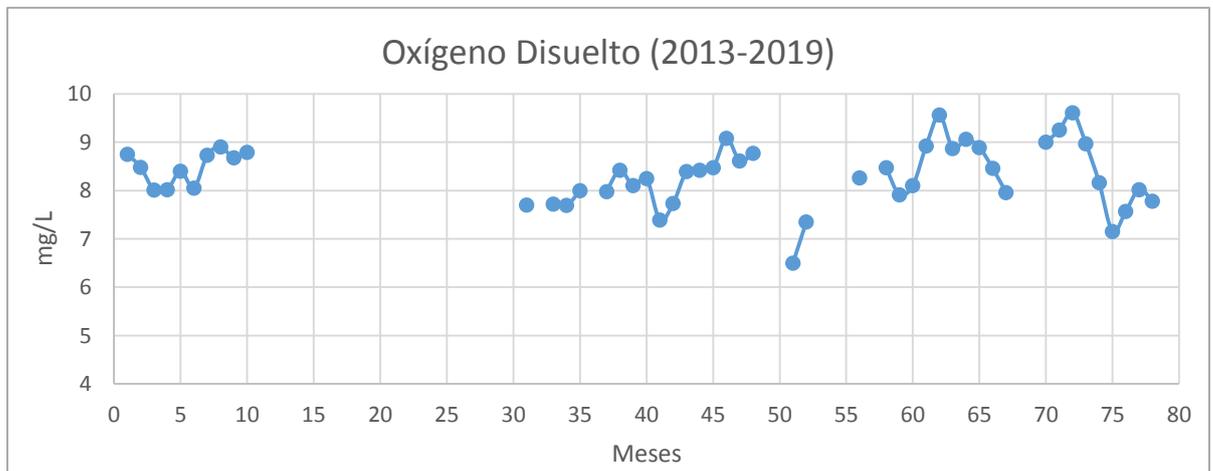
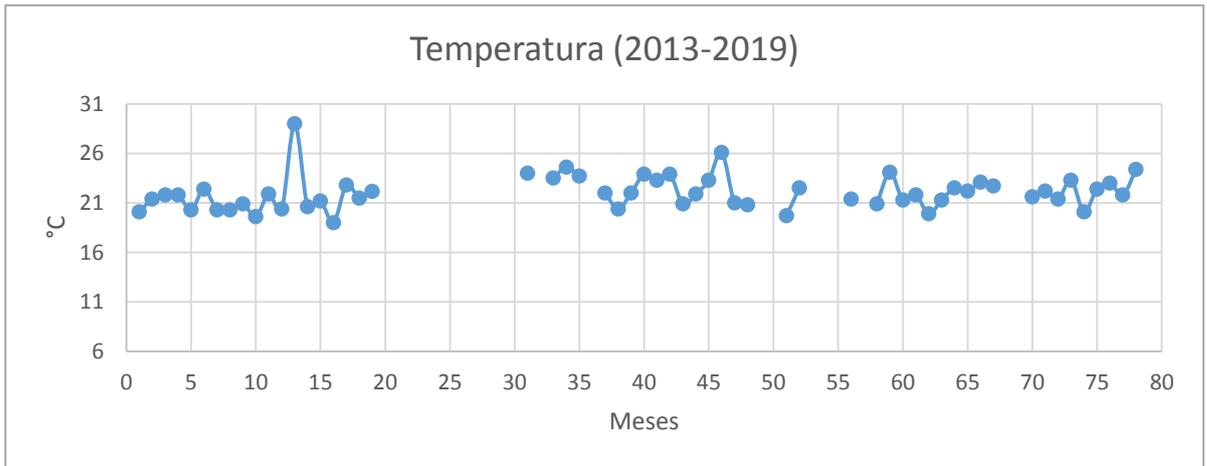
Año	Meses	Número de mes	T (°C)	DQO (mg/L)	SST (mg/L)	OD (mg/L)	CE (uS/cm)
2017	Enero	44	21,9	51	178	8,42	207,7
	Febrero	45	23,3	134	301	8,47	198
	Marzo	46	26,1	85	462	9,08	161,4
	Abril	47	21	110	270	8,61	135,4
	Mayo	48	20,8	40	844	8,77	
	Junio	49					
	Julio	50					
	Agosto	51	19,7	100	52	6,5	275
	Septiembre	52	22,5	50	93	7,35	375
	Octubre	53					
	Noviembre	54					
	Diciembre	55					
2018	Enero	56	21,4	82	630	8,26	186,9
	Febrero	57					
	Marzo	58	20,9	69	568	8,47	234
	Abril	59	24,1	85	184	7,91	219
	Mayo	60	21,3	69	199	8,1	245
	Junio	61	21,8	362	1000	8,92	242
	Julio	62	19,9	54	318	9,56	251
	Agosto	63	21,3	41	132	8,87	338
	Septiembre	64	22,5	56	61	9,06	386
	Octubre	65	22,2	95	318	8,89	412
	Noviembre	66	23,1	77	378	8,46	393
	Diciembre	67	22,7	47	190	7,96	340
2019	Enero	68					
	Febrero	69					
	Marzo	70	21,6	73	500	9	205,4
	Abril	71	22,2	21	137	9,25	197,1
	Mayo	72	21,4	55	150	9,61	228
	Junio	73	23,3	70	98	8,97	259
	Julio	74	20,1	38	121	8,16	297
	Agosto	75	22,4	49	56	7,15	344
	Septiembre	76	23	38	71	7,57	413
	Octubre	77	21,8	198	360	8,02	245
	Noviembre	78	24,4	190	2276	7,78	223
	Diciembre	79					

Elaborado por: Germania Iza

Anexo 5

Gráficas de Control de los Parámetros Físicoquímicos del Río Guayllabamba





Elaborado por: Germania Iza

Anexo 6

Tabla de la Base de Datos de Parámetros Fisicoquímicos Relacionados al ISQA del Río

Guayllabamba Periodo 2013-2019

Año	Mes	Número de mes	T (°C)	DQO (mg/L)	SST (mg/L)	OD (mg/L)	CE (uS/cm)
2013	Junio	1	20,1	22	77	8,75	239
	Julio	2	21,4	30	271	8,48	253
	Agosto	3	21,8	73	208	8,01	355
	Septiembre	4	21,8	94	56	8,02	369
	Octubre	5	20,3	119	437	8,4	344
	Noviembre	6	22,4	52	173	8,05	370
2016	Junio	7	22	9,5	119	7,98	250
	Julio	8	20,4	55	50	8,42	285
	Agosto	9	22	17	50	8,1	331
	Septiembre	10	23,9	26	232	8,25	296
	Octubre	11	23,3	95	868	7,39	335
	Noviembre	12	23,9	48	125	7,73	390
2018	Junio	13	21,8	362	1000	8,92	242
	Julio	14	19,9	54	318	9,56	251
	Agosto	15	21,3	41	132	8,87	338
	Septiembre	16	22,5	56	61	9,06	386
	Octubre	17	22,2	95	318	8,89	412
	Noviembre	18	23,1	77	378	8,46	393
2019	Junio	19	23,3	70	98	8,97	259
	Julio	20	20,1	38	121	8,16	297
	Agosto	21	22,4	49	56	7,15	344
	Septiembre	22	23	38	71	7,57	413
	Octubre	23	21,8	198	360	8,02	245
	Noviembre	24	24,4	190	2276	7,78	223

Elaborado por: Germania Iza

Anexo 7

Tabla de Prueba de Valores Z en la Base de Datos de Parámetros Fisicoquímicos del Río

Guayllabamba Periodo 2013-2019

Año	MES	T (°C)	Z	DQO (mg/L)	Z	SST (mg/L)	Z	OD (mg/L)	Z	CE (uS/cm)	Z
2013	Jun	20,1	-1,53	22	-0,75	77	-0,52	8,75	0,79	239	-1,27
	Jul	21,4	-0,51	30	-0,65	271	-0,12	8,48	0,33	253	-1,05
	Ag	21,8	-0,19	73	-0,09	208	-0,25	8,01	-0,49	355	0,61
	Sept	21,8	-0,19	94	0,19	56	-0,56	8,02	-0,47	369	0,84
	Oct	20,3	-1,37	119	0,51	437	0,23	8,4	0,19	344	0,43
	Nov	22,4	0,28	52	-0,36	173	-0,32	8,05	-0,42	370	0,85
2016	Jun	22	-0,04	9,5	-0,91	119	-0,43	7,98	-0,54	250	-1,1
	Jul	20,4	-1,29	55	-0,32	50	-0,58	8,42	0,22	285	-0,53
	Ag	22	-0,04	17	-0,82	50	-0,58	8,1	-0,33	331	0,22
	Sept	23,9	1,46	26	-0,7	232	-0,2	8,25	-0,07	296	-0,35
	Oct	23,3	0,99	95	0,2	868	1,12	7,39	-1,56	335	0,28
	Nov	23,9	1,46	48	-0,41	125	-0,42	7,73	-0,97	390	1,18
2018	Jun	21,8	-0,19	362	3,68	1000	1,4	8,92	1,09	242	-1,22
	Jul	19,9	-1,69	54	-0,33	318	-0,02	9,56	2,19	251	-1,08
	Ag	21,3	-0,59	41	-0,5	132	-0,41	8,87	1	338	0,33
	Sept	22,5	0,36	56	-0,31	61	-0,55	9,06	1,33	386	1,11
	Oct	22,2	0,12	95	0,2	318	-0,02	8,89	1,03	412	1,53
	Nov	23,1	0,83	77	-0,03	378	0,11	8,46	0,29	393	1,22
2019	Jun	23,3	0,99	70	-0,12	98	-0,48	8,97	1,17	259	-0,95
	Jul	20,1	-1,53	38	-0,54	121	-0,43	8,16	-0,23	297	-0,33
	Ag	22,4	0,28	49	-0,4	56	-0,56	7,15	-1,97	344	0,43
	Sept	23	0,75	38	-0,54	71	-0,53	7,57	-1,25	413	1,55
	Oct	21,8	-0,19	198	1,54	360	0,07	8,02	-0,47	245	-1,18
	Nov	24,4	1,85	190	1,44	2276	4,05	7,78	-0,88	223	-1,53

 Datos atípicos identificados con la prueba z.

 Posibles datos atípicos detectados en el diagrama de cajas

Elaborado por: Germania Iza

Anexo 8

Tabla de Segunda Prueba de Valores Z en la Base de Datos de Parámetros Fisicoquímicos del Río

Guayllabamba Periodo 2013-2019

Año	MES	T (°C)	Z	DQO (mg/L)	Z	SST (mg/L)	Z	OD (mg/L)	Z	CE (uS/cm)	Z
2013	Jun	20,10	-1,53	22,00	-0,95	77,00	-0,67	8,75	0,79	239,00	-1,27
	Jul	21,40	-0,51	30,00	-0,78	271,00	0,12	8,48	0,33	253,00	-1,05
	Ag	21,80	-0,19	73,00	0,13	208,00	-0,14	8,01	-0,49	355,00	0,61
	Sept	21,80	-0,19	94,00	0,57	56,00	-0,76	8,02	-0,47	369,00	0,84
	Oct	20,30	-1,37	119,00	1,09	437,00	0,80	8,40	0,19	344,00	0,43
	Nov	22,40	0,28	52,00	-0,32	173,00	-0,28	8,05	-0,42	370,00	0,85
2016	Jun	22,00	-0,04	9,50	-1,21	119,00	-0,50	7,98	-0,54	250,00	-1,10
	Jul	20,40	-1,29	55,00	-0,25	50,00	-0,78	8,42	0,22	285,00	-0,53
	Ag	22,00	-0,04	17,00	-1,05	50,00	-0,78	8,10	-0,33	331,00	0,22
	Sept	23,90	1,46	26,00	-0,86	232,00	-0,04	8,25	-0,07	296,00	-0,35
	Oct	23,30	0,99	95,00	0,59	868,00	2,57	7,39	-1,56	335,00	0,28
	Nov	23,90	1,46	48,00	-0,40	125,00	-0,48	7,73	-0,97	390,00	1,18
2018	Jun	21,80	-0,19	61,50	-0,12	1000,00	3,12	8,92	1,09	242,00	-1,22
	Jul	19,90	-1,69	54,00	-0,27	318,00	0,32	9,56	2,19	251,00	-1,08
	Ag	21,30	-0,59	41,00	-0,55	132,00	-0,45	8,87	1,00	338,00	0,33
	Sept	22,50	0,36	56,00	-0,23	61,00	-0,74	9,06	1,33	386,00	1,11
	Oct	22,20	0,12	95,00	0,59	318,00	0,32	8,89	1,03	412,00	1,53
	Nov	23,10	0,83	77,00	0,21	378,00	0,56	8,46	0,29	393,00	1,22
2019	Jun	23,30	0,99	70,00	0,06	98,00	-0,59	8,97	1,17	259,00	-0,95
	Jul	20,10	-1,53	38,00	-0,61	121,00	-0,49	8,16	-0,23	297,00	-0,33
	Ag	22,40	0,28	49,00	-0,38	56,00	-0,76	7,15	-1,97	344,00	0,43
	Sept	23,00	0,75	38,00	-0,61	71,00	-0,70	7,57	-1,25	413,00	1,55
	Oct	21,80	-0,19	198,00	2,75	360,00	0,49	8,02	-0,47	245,00	-1,18
	Nov	24,40	1,85	190,00	2,59	204,12	-0,15	7,78	-0,88	223,00	-1,53
Media		22,04		67,00		240,96		8,29		317,50	
Desv Std.		1,27		47,57		243,62		0,57		61,63	

 Datos atípicos corregidos en el Software R, tomados como errores de digitación.

 Datos atípicos detectados en el diagrama de cajas y prueba

Elaborado por: Germania Iza

Anexo 9

Tabla de Tercera Prueba de Valores Z en la Base de Datos de Parámetros Físicoquímicos del Río

Guayllabamba Periodo 2013-2019

Año	MES	T (°C)	Z	DQO (mg/L)	Z	SST (mg/L)	Z	OD (mg/L)	Z	CE (uS/cm)	Z
2013	Jun	20,1	-1,53	22	-0,95	77	-0,73	8,75	0,79	239	-1,27
	Jul	21,4	-0,51	30	-0,78	271	0,33	8,48	0,33	253	-1,05
	Ag	21,8	-0,19	73	0,13	208	-0,01	8,01	-0,49	355	0,61
	Sept	21,8	-0,19	94	0,57	56	-0,84	8,02	-0,47	369	0,84
	Oct	20,3	-1,37	119	1,09	437	1,24	8,4	0,19	344	0,43
	Nov	22,4	0,28	52	-0,32	173	-0,2	8,05	-0,42	370	0,85
2016	Jun	22	-0,04	9,5	-1,21	119	-0,5	7,98	-0,54	250	-1,1
	Jul	20,4	-1,29	55	-0,25	50	-0,88	8,42	0,22	285	-0,53
	Ag	22	-0,04	17	-1,05	50	-0,88	8,1	-0,33	331	0,22
	Sept	23,9	1,46	26	-0,86	232	0,12	8,25	-0,07	296	-0,35
	Oct	23,3	0,99	95	0,59	868	3,6	7,39	-1,56	335	0,28
	Nov	23,9	1,46	48	-0,4	125	-0,47	7,73	-0,97	390	1,18
2018	Jun	21,8	-0,19	61,5	-0,12	258,5	0,27	8,92	1,09	242	-1,22
	Jul	19,9	-1,69	54	-0,27	318	0,59	9,56	2,19	251	-1,08
	Ag	21,3	-0,59	41	-0,55	132	-0,43	8,87	1	338	0,33
	Sept	22,5	0,36	56	-0,23	61	-0,82	9,06	1,33	386	1,11
	Oct	22,2	0,12	95	0,59	318	0,59	8,89	1,03	412	1,53
	Nov	23,1	0,83	77	0,21	378	0,92	8,46	0,29	393	1,22
2019	Jun	23,3	0,99	70	0,06	98	-0,61	8,97	1,17	259	-0,95
	Jul	20,1	-1,53	38	-0,61	121	-0,49	8,16	-0,23	297	-0,33
	Ag	22,4	0,28	49	-0,38	56	-0,84	7,15	-1,97	344	0,43
	Sept	23	0,75	38	-0,61	71	-0,76	7,57	-1,25	413	1,55
	Oct	21,8	-0,19	198	2,75	360	0,82	8,02	-0,47	245	-1,18
	Nov	24,4	1,85	190	2,59	204,12	-0,03	7,78	-0,88	223	-1,53
Media		22,05		67		210,07		8,29		317,5	
Desv. Std		1,27		47,57		182,54		0,58		61,64	

 Datos atípicos corregidos en el Software R, tomados como errores de digitación.

 Datos atípicos detectados en el diagrama de cajas y prueba Z.

Elaborado por: Germania Iza

Anexo 10

Tabla de Cuarta Prueba de Valores Z Sin Datos Atípicos en la Base de Datos de Parámetros Físicoquímicos del Río Guayllabamba Periodo 2013-2019

Año	MES	T (°C)	Z	DQO (mg/L)	Z	SST (mg/L)	Z	OD (mg/L)	Z	CE (uS/cm)	Z
2013	Jun	20,1	-1,53	22	-0,95	77	-0,89	8,75	0,79	239	-1,27
	Jul	21,4	-0,51	30	-0,78	271	0,77	8,48	0,33	253	-1,05
	Ag	21,8	-0,19	73	0,13	208	0,23	8,01	-0,49	355	0,61
	Sept	21,8	-0,19	94	0,57	56	-1,07	8,02	-0,47	369	0,84
	Oct	20,3	-1,37	119	1,09	437	2,19	8,4	0,19	344	0,43
	Nov	22,4	0,28	52	-0,32	173	-0,07	8,05	-0,42	370	0,85
2016	Jun	22	-0,04	9,5	-1,21	119	-0,53	7,98	-0,54	250	-1,1
	Jul	20,4	-1,29	55	-0,25	50	-1,12	8,42	0,22	285	-0,53
	Ag	22	-0,04	17	-1,05	50	-1,12	8,1	-0,33	331	0,22
	Sept	23,9	1,46	26	-0,86	232	0,43	8,25	-0,07	296	-0,35
	Oct	23,3	0,99	95	0,59	178,5	-0,02	7,39	-1,56	335	0,28
	Nov	23,9	1,46	48	-0,4	125	-0,48	7,73	-0,97	390	1,18
2018	Jun	21,8	-0,19	61,5	-0,12	258,5	0,66	8,92	1,09	242	-1,22
	Jul	19,9	-1,69	54	-0,27	318	1,17	9,56	2,19	251	-1,08
	Ag	21,3	-0,59	41	-0,55	132	-0,42	8,87	1	338	0,33
	Sept	22,5	0,36	56	-0,23	61	-1,03	9,06	1,33	386	1,11
	Oct	22,2	0,12	95	0,59	318	1,17	8,89	1,03	412	1,53
	Nov	23,1	0,83	77	0,21	378	1,68	8,46	0,29	393	1,22
2019	Jun	23,3	0,99	70	0,06	98	-0,71	8,97	1,17	259	-0,95
	Jul	20,1	-1,53	38	-0,61	121	-0,52	8,16	-0,23	297	-0,33
	Ag	22,4	0,28	49	-0,38	56	-1,07	7,15	-1,97	344	0,43
	Sept	23	0,75	38	-0,61	71	-0,94	7,57	-1,25	413	1,55
	Oct	21,8	-0,19	198	2,75	360	1,53	8,02	-0,47	245	-1,18
	Nov	24,4	1,85	190	2,59	204,12	0,19	7,78	-0,88	223	-1,53
Media		22,05		67		181,34		8,29		317,5	
Desv. Std		1,27		47,57		116,98		0,58		61,64	

 Datos atípicos corregidos en el Software R, tomados como errores de digitación.

Elaborado por: Germania Iza

Anexo 11

Base de Datos inicial de Serie de Tiempo Periodo 2016-2019

Año	Meses	Número de mes	T (°C)	DQO (mg/L)	SST (mg/L)	OD (mg/L)	CE (uS/cm)
2016	Enero	1					
	Febrero	2	23,50	10,50	59,00	7,72	295,00
	Marzo	3	24,60	48,00	573,33	7,69	167,00
	Abril	4	23,70	22,50	648,00	8,00	169,40
	Mayo	5					
	Junio	6	22,00	9,50	119,00	7,98	250,00
	Julio	7	20,40	55,00	50,00	8,42	285,00
	Agosto	8	22,00	17,00	50,00	8,10	331,00
	Septiembre	9	23,90	26,00	232,00	8,25	296,00
	Octubre	10	23,30	95,00	178,50	7,39	335,00
	Noviembre	11	23,90	48,00	125,00	7,73	390,00
	Diciembre	12	20,90	108,00	547,00	8,39	309,00
2017	Enero	13	21,90	51,00	178,00	8,42	207,70
	Febrero	14	23,30	134,00	301,00	8,47	198,00
	Marzo	15	26,10	85,00	462,00	9,08	161,40
	Abril	16	21,00	110,00	270,00	8,61	135,40
	Mayo	17	20,80	40,00	844,00	8,77	195,02
	Junio	18					
	Julio	19					
	Agosto	20	19,70	100,00	52,00	6,50	275,00
	Septiembre	21	22,50	50,00	93,00	7,35	375,00
	Octubre	22					
	Noviembre	23					
	Diciembre	24					
2018	Enero	25	21,40	82,00	630,00	8,26	186,90
	Febrero	26					
	Marzo	27	20,90	69,00	568,00	8,47	234,00
	Abril	28	24,10	85,00	184,00	7,91	219,00
	Mayo	29	21,30	69,00	199,00	8,10	245,00
	Junio	30	21,80	61,50	258,50	8,92	242,00
	Julio	31	19,90	54,00	318,00	9,56	251,00
	Agosto	32	21,30	41,00	132,00	8,87	338,00
	Septiembre	33	22,50	56,00	61,00	9,06	386,00
	Octubre	34	22,20	95,00	318,00	8,89	412,00
	Noviembre	35	23,10	77,00	378,00	8,46	393,00
	Diciembre	36	22,70	47,00	190,00	7,96	340,00

Año	Meses	Número de mes	T (°C)	DQO (mg/L)	SST (mg/L)	OD (mg/L)	CE (uS/cm)
2019	Enero	37					
	Febrero	38					
	Marzo	39	21,60	73,00	500,00	9,00	205,40
	Abril	40	22,20	21,00	137,00	9,25	197,10
	Mayo	41	21,40	55,00	150,00	9,61	228,00
	Junio	42	23,30	70,00	98,00	8,97	259,00
	Julio	43	20,10	38,00	121,00	8,16	297,00
	Agosto	44	22,40	49,00	56,00	7,15	344,00
	Septiembre	45	23,00	38,00	71,00	7,57	413,00
	Octubre	46	21,80	198,00	360,00	8,02	245,00
	Noviembre	47	24,40	190,00	204,12	7,78	223,00
	Diciembre	48					

Elaborado por: Germania Iza

Anexo 12

Códigos R Para Método de Imputación de Llenado de Datos en la Base de Serie de Tiempo

```

#librerías
library(readxl)
library(plotly)

#leer serie
library(readxl)

serie <- read_excel ("C:/Users/CORE
i7/Desktop/TITULACIÓN
II/DATOS/R/imagenes/serie.xlsx")

View(serie)

#Estadística descriptiva
summary(serie)

#Valor faltante
is.na(serie)

which(is.na(demanda))
which(is.na(solidos))
which(is.na(conductividad))
which(is.na(temperatura))
which(is.na(oxigeno))

serie [! complete. Cases(serie),]

#completar datos

#completar temperatura
R <- serie
R[2,4] <- mean(na.omit(R$T[1:3]))
R
R[6,4] <- mean(na.omit(R$T[5:7]))
R
R[19,4] <- mean(na.omit(R$T[18:21]))
R
R[20,4] <- mean(na.omit(R$T[19:21]))
R
R [27,4] <- mean (na. omit (R$T [26:28]))
R

#Completar oxígeno disuelto
R[2,5] <- mean(na.omit(R$OD[1:3]))
R
R[6,5] <- mean(na.omit(R$OD[5:7]))
R
R[19,5] <- mean(na.omit(R$OD[18:21]))
R
R[20,5] <- mean(na.omit(R$OD[19:21]))
R
R[27,5] <- mean(na.omit(R$OD[26:28]))

# Completar conductividad
R[2,3] <- mean(na.omit(R$CE[1:3]))
R
R[6,3] <- mean(na.omit(R$CE[5:7]))
R
R[18,3] <- mean(na.omit(R$CE[17:19]))
R
R[20,3] <- mean(na.omit(R$CE[19:21]))
R
R[27,3] <- mean(na.omit(R$CE[26:28]))
R
R[31,3] <- mean(na.omit(R$CE[30:32]))
R

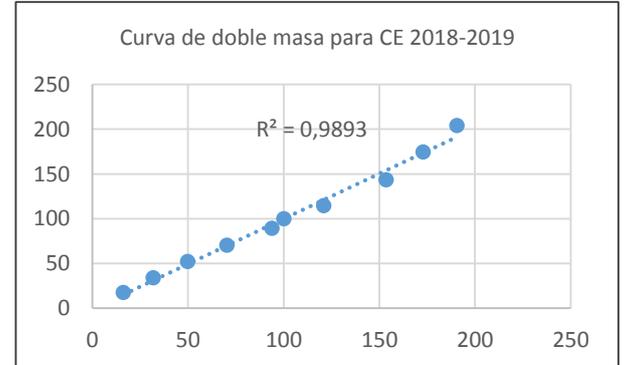
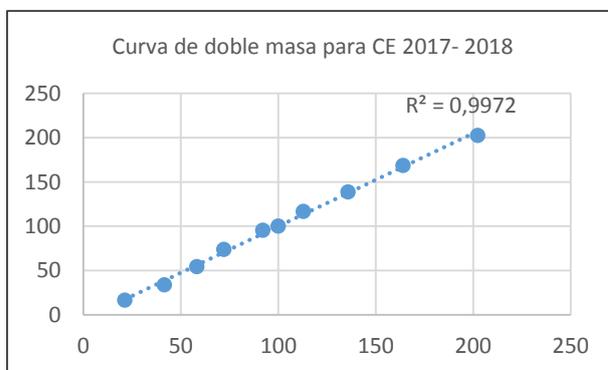
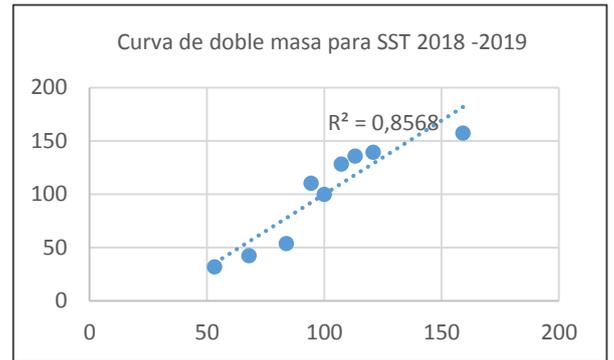
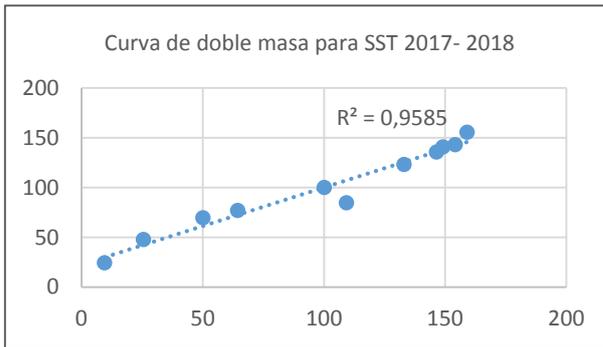
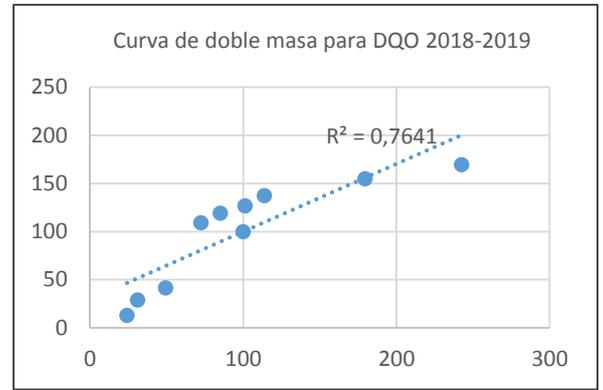
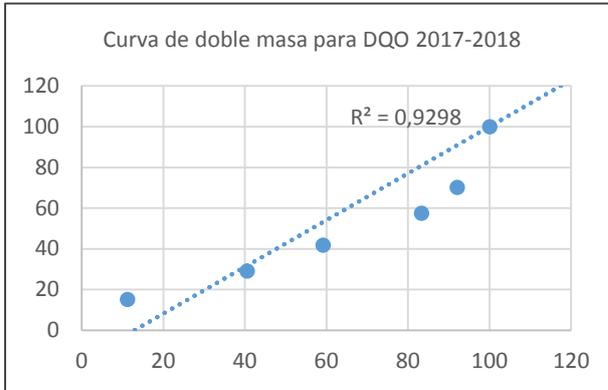
#Completar demanda química de oxígeno
R[2,1] <- mean(na.omit(R$DQO[1:3]))
R
R[6,1] <- median(na.omit(R$DQO[5:7]))
R
R[19,1]
<- median(na.omit(R$DQO[18:21]))
R
R[20,1]
<- median(na.omit(R$DQO[19:21]))
R
R[27,1]
<- median(na.omit(R$DQO[26:28]))
R

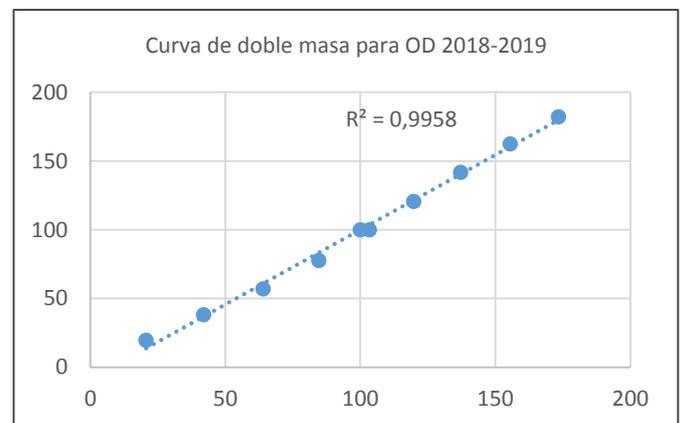
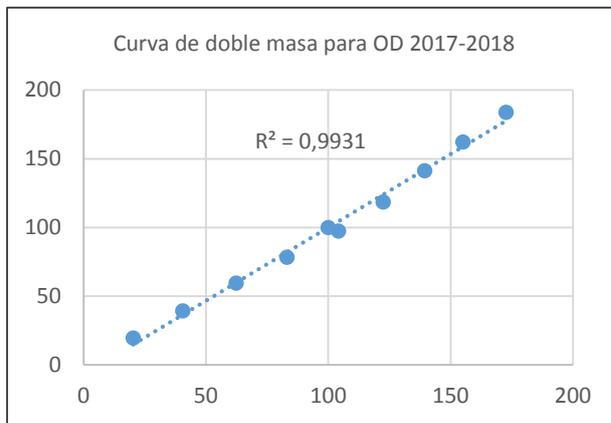
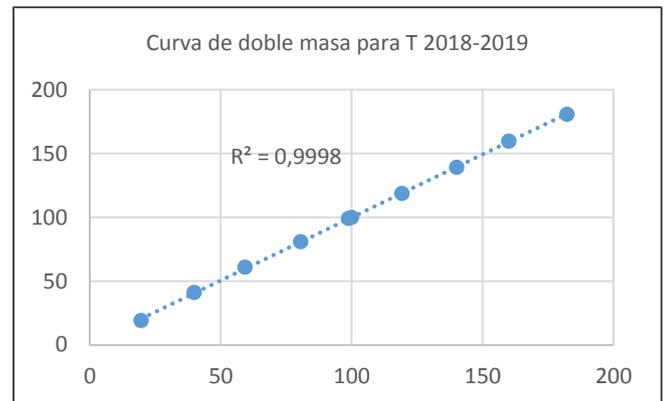
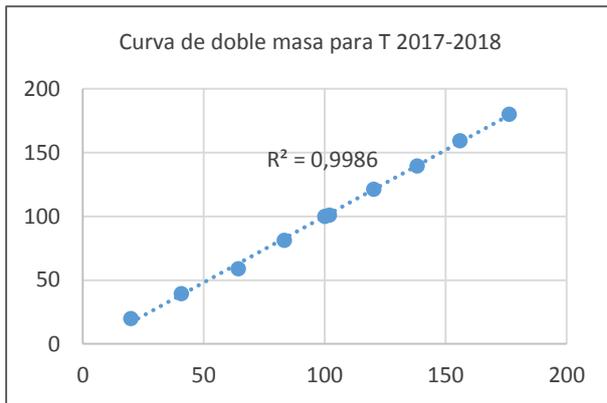
#Completar sólidos suspendidos totales
R[2,2] <- median(na.omit(R$$SST[3:4]))
R
R[6,2] <- median(na.omit(R$$SST[5:7]))
R
R[19,2]
<- median(na.omit(R$$SST[18:21]))
R
R[20,2]
<- median(na.omit(R$$SST[19:21]))
R
R[27,2]
<-median(na.omit(R$$SST[26:28]))

```

Anexo 13

Curvas de Doble Masa





Elaborado por: Germania Iza

Anexo 14

Base de Datos Completa de Serie de Tiempo y Prueba de Valores Z Periodo 2016-2019

Año	Mes	Número mes	T (°C)	Z	DQO (mg/L)	Z	SST (mg/L)	Z	OD (mg/L)	Z	CE (uS/cm)	Z	CE (uS/cm) a 18 °C	Z
2016	Enero	1	23,75	1,08	6,75	-1,46	316,16	0,21	7,71	-0,73	321,5	0,73	276,49	0,73
	Febrero	2	23,5	0,9	10,5	-1,37	59	-1,13	7,72	-0,72	295	0,37	253,7	0,37
	Marzo	3	24,6	1,69	48	-0,41	573,33	1,55	7,69	-0,76	167	-1,33	143,62	-1,33
	Abril	4	23,7	1,04	22,5	-1,06	648	1,94	8	-0,29	169,4	-1,3	145,68	-1,3
	Mayo	5	22,85	0,43	22,5	-1,06	383,5	0,56	7,99	-0,3	209,7	-0,76	180,34	-0,76
	Junio	6	22	-0,18	9,5	-1,39	119	-0,82	7,98	-0,32	250	-0,23	215	-0,23
	Julio	7	20,4	-1,34	55	-0,23	50	-1,18	8,42	0,36	285	0,24	245,1	0,24
	Agosto	8	22	-0,18	17	-1,2	50	-1,18	8,1	-0,13	331	0,85	284,66	0,85
	Septiembre	9	23,9	1,19	26	-0,97	232	-0,23	8,25	0,1	296	0,39	254,56	0,39
	Octubre	10	23,3	0,76	95	0,8	178,5	-0,51	7,39	-1,23	335	0,91	288,1	0,91
	Noviembre	11	23,9	1,19	48	-0,41	125	-0,79	7,73	-0,7	390	1,64	335,4	1,64
	Diciembre	12	20,9	-0,98	108	1,13	547	1,41	8,39	0,31	309	0,56	265,74	0,56
2017	Enero	13	21,9	-0,25	51	-0,33	178	-0,51	8,42	0,36	207,7	-0,79	178,62	-0,79
	Febrero	14	23,3	0,76	134	1,79	301	0,13	8,47	0,44	198	-0,92	170,28	-0,92
	Marzo	15	26,1	2,78	85	0,54	462	0,97	9,08	1,37	161,4	-1,41	138,8	-1,41
	Abril	16	21	-0,9	110	1,18	270	-0,03	8,61	0,65	135,4	-1,75	116,44	-1,75
	Mayo	17	20,8	-1,05	40	-0,61	844	2,96	8,77	0,9	195,02	-0,96	167,72	-0,96
	Junio	18	20,25	-1,44	70	0,16	448	0,9	7,63	-0,86	203,4	-0,85	174,92	-0,85
	Julio	19	19,97	-1,65	85	0,54	250	-0,14	7,06	-1,73	222,99	-0,59	191,77	-0,59
	Agosto	20	19,7	-1,84	100	0,92	52	-1,17	6,5	-2,59	275	0,11	236,5	0,11
	Septiembre	21	22,5	0,18	50	-0,36	93	-0,96	7,35	-1,29	375	1,44	322,5	1,44
	Octubre	22	22,42	0,12	66	0,05	361,5	0,44	8,27	0,12	354,32	1,16	304,72	1,16
	Noviembre	23	23,33	0,78	61,6	-0,06	283,5	0,04	7,87	-0,49	337,98	0,95	290,66	0,95
	Diciembre	24	22,93	0,49	37,6	-0,67	142,5	-0,7	7,4	-1,21	292,4	0,34	251,46	0,34

Año	Mes	Número mes	T (°C)	Z	DQO (mg/L)	Z	SST (mg/L)	Z	OD (mg/L)	Z	CE (uS/cm)	Z	CE (uS/cm) a 18 °C	Z
2018	Enero	25	21,4	-0,61	82	0,46	630	1,85	8,26	0,11	186,9	-1,07	160,73	-1,07
	Febrero	26	21,15	-0,8	75,5	0,3	599	1,68	8,36	0,27	195,45	-0,95	168,09	-0,95
	Marzo	27	20,9	-0,98	69	0,13	568	1,52	8,47	0,44	234	-0,44	201,24	-0,44
	Abril	28	24,1	1,33	85	0,54	184	-0,48	7,91	-0,43	219	-0,64	188,34	-0,64
	Mayo	29	21,3	-0,69	69	0,13	199	-0,4	8,1	-0,13	245	-0,29	210,7	-0,29
	Junio	30	21,8	-0,33	61,5	-0,06	258,5	-0,09	8,92	1,13	242	-0,33	208,12	-0,33
	Julio	31	19,9	-1,7	54	-0,25	318	0,22	9,56	2,11	251	-0,21	215,86	-0,21
	Agosto	32	21,3	-0,69	41	-0,59	132	-0,75	8,87	1,05	338	0,95	290,68	0,95
	Septiembre	33	22,5	0,18	56	-0,2	61	-1,12	9,06	1,34	386	1,58	331,96	1,58
	Octubre	34	22,2	-0,04	95	0,8	318	0,22	8,89	1,08	412	1,93	354,32	1,93
	Noviembre	35	23,1	0,61	77	0,33	378	0,53	8,46	0,42	393	1,68	337,98	1,68
	Diciembre	36	22,7	0,32	47	-0,43	190	-0,45	7,96	-0,35	340	0,97	292,4	0,97
2019	Enero	37	21,83	-0,31	66,42	0,06	340,2	0,33	8,01	-0,27	166,34	-1,34	143,05	-1,34
	Febrero	38	21,57	-0,49	61,16	-0,07	323,46	0,25	8,11	-0,12	173,95	-1,24	149,6	-1,24
	Marzo	39	21,6	-0,47	73	0,23	500	1,17	9	1,25	205,4	-0,82	176,64	-0,82
	Abril	40	22,2	-0,04	21	-1,1	137	-0,73	9,25	1,64	197,1	-0,93	169,51	-0,93
	Mayo	41	21,4	-0,61	55	-0,23	150	-0,66	9,61	2,19	228	-0,52	196,08	-0,52
	Junio	42	23,3	0,76	70	0,16	98	-0,93	8,97	1,2	259	-0,11	222,74	-0,11
	Julio	43	20,1	-1,55	38	-0,66	121	-0,81	8,16	-0,04	297	0,4	255,42	0,4
	Agosto	44	22,4	0,11	49	-0,38	56	-1,15	7,15	-1,59	344	1,03	295,84	1,03
	Septiembre	45	23	0,54	38	-0,66	71	-1,07	7,57	-0,95	413	1,94	355,18	1,94
	Octubre	46	21,8	-0,33	198	3,43	360	0,44	8,02	-0,26	245	-0,29	210,7	-0,29
	Noviembre	47	24,4	1,55	190	3,23	204,12	-0,38	7,78	-0,63	223	-0,59	191,78	-0,59
	Diciembre	48	23,15	0,65	38,07	-0,66	102,6	-0,91	7,72	-0,72	302,6	0,47	260,24	0,47
Media			22,25		63,93		276,37		8,19		266,96		229,58	
Desv. Std			1,39		39,08		191,64		0,65		75,12		64,6	

Datos completados en el software R
 Datos completados con el método de promedios
 Datos atípicos

Elaborado por: Germania Iza

Anexo 15

Tabla de Serie de Tiempo Segunda Prueba de Valores Z Sin datos Atípicos en el Parámetro Demanda Química de Oxígeno periodo 2016-2019

Año	Meses	Número mes	T (°C)	DQO (mg/L)	Z	SST (mg/L)	OD (mg/L)	CE (uS/cm)	CE a 18 °C
2016	Enero	1	23,75	6,75	-1,63	316,16	7,71	321,5	276,49
	Febrero	2	23,5	10,5	-1,51	59	7,72	295	253,7
	Marzo	3	24,6	48	-0,34	573,33	7,69	167	143,62
	Abril	4	23,7	22,5	-1,14	648	8	169,4	145,68
	Mayo	5	22,85	22,5	-1,14	383,5	7,99	209,7	180,34
	Junio	6	22	9,5	-1,54	119	7,98	250	215
	Julio	7	20,4	55	-0,13	50	8,42	285	245,1
	Agosto	8	22	17	-1,31	50	8,1	331	284,66
	Septiembre	9	23,9	26	-1,03	232	8,25	296	254,56
	Octubre	10	23,3	95	1,12	178,5	7,39	335	288,1
	Noviembre	11	23,9	48	-0,34	125	7,73	390	335,4
	Diciembre	12	20,9	108	1,52	547	8,39	309	265,74
2017	Enero	13	21,9	51	-0,25	178	8,42	207,7	178,62
	Febrero	14	23,3	134	2,33	301	8,47	198	170,28
	Marzo	15	26,1	85	0,81	462	9,08	161,4	138,8
	Abril	16	21	110	1,59	270	8,61	135,4	116,44
	Mayo	17	20,8	40	-0,59	844	8,77	195,02	167,72
	Junio	18	20,25	70	0,34	448	7,63	203,4	174,92
	Julio	19	19,97	85	0,81	250	7,06	222,99	191,77
	Agosto	20	19,7	100	1,28	52	6,5	275	236,5
	Septiembre	21	22,5	50	-0,28	93	7,35	375	322,5
	Octubre	22	22,42	66	0,22	361,5	8,27	354,32	304,72
	Noviembre	23	23,33	61,6	0,08	283,5	7,87	337,98	290,66
	Diciembre	24	22,93	37,6	-0,67	142,5	7,4	292,4	251,46
2018	Enero	25	21,4	82	0,71	630	8,26	186,9	160,73
	Febrero	26	21,15	75,5	0,51	599	8,36	195,45	168,09
	Marzo	27	20,9	69	0,31	568	8,47	234	201,24
	Abril	28	24,1	85	0,81	184	7,91	219	188,34
	Mayo	29	21,3	69	0,31	199	8,1	245	210,7

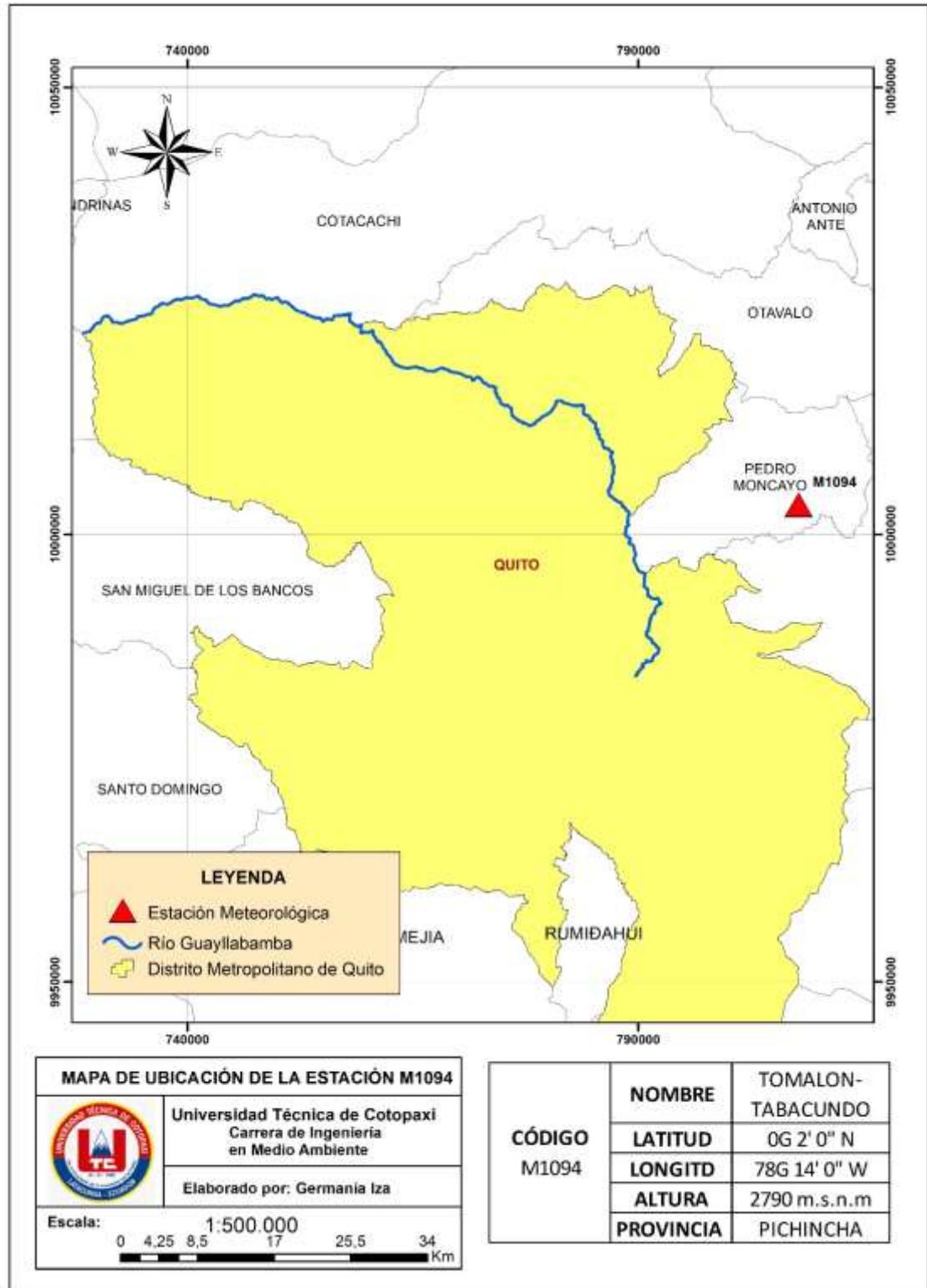
Año	Meses	Número mes	T (°C)	DQO (mg/L)	Z	SST (mg/L)	OD (mg/L)	CE (uS/cm)	CE a 18 °C
2018	Junio	30	21,8	61,5	0,08	258,5	8,92	242	208,12
	Julio	31	19,9	54	-0,16	318	9,56	251	215,86
	Agosto	32	21,3	41	-0,56	132	8,87	338	290,68
	Septiembre	33	22,5	56	-0,09	61	9,06	386	331,96
	Octubre	34	22,2	95	1,12	318	8,89	412	354,32
	Noviembre	35	23,1	77	0,56	378	8,46	393	337,98
	Diciembre	36	22,7	47	-0,38	190	7,96	340	292,4
	Enero	37	21,83	66,42	0,23	340,2	8,01	166,34	143,05
	Febrero	38	21,57	61,16	0,07	323,46	8,11	173,95	149,6
	Marzo	39	21,6	73	0,43	500	9	205,4	176,64
	Abril	40	22,2	21	-1,18	137	9,25	197,1	169,51
	Mayo	41	21,4	55	-0,13	150	9,61	228	196,08
2019	Junio	42	23,3	70	0,34	98	8,97	259	222,74
	Julio	43	20,1	38	-0,66	121	8,16	297	255,42
	Agosto	44	22,4	49	-0,31	56	7,15	344	295,84
	Septiembre	45	23	38	-0,66	71	7,57	413	355,18
	Octubre	46	21,8	114	1,71	360	8,02	245	210,7
	Noviembre	47	24,4	76,04	0,53	204,12	7,78	223	191,78
	Diciembre	48	23,15	38,07	-0,65	102,6	7,72	302,6	260,24
		Media		22,25	59,05		276,37	8,19	266,96
	Desv. Std		1,39	32,11		191,64	0,65	75,12	64,6

 Datos atípicos corregidos por método de imputación

Elaborado por: Germania Iza

Anexo 16

Figura de la Ubicación de la Estación Meteorológica



Elaborado por: Germanía Iza

Anexo 17

Cálculo del ISQA Mensual y Anual del río Guayllabamba en el Periodo 2013-2019

Año	MES	T (°C)	Ecuación	DQO (mg/L)	Ecuación	SST (mg/L)	Ecuación	OD (mg/L)	Ecuación	CE (uS/cm)	Ecuación	ISQA
2013	Junio	20,10	1,00	22,00	13,30	77,00	13,45	8,75	21,88	205,54	19,82	68,36
	Julio	21,40	0,98	30,00	10,50	271,00	0,00	8,48	21,20	217,58	19,44	50,25
	Agosto	21,80	0,98	73,00	0,00	208,00	2,44	8,01	20,03	305,30	17,18	38,75
	Septiembre	21,80	0,98	94,00	0,00	56,00	16,60	8,02	20,05	317,34	16,92	52,36
	Octubre	20,30	1,00	119,00	0,00	437,00	0,00	8,40	21,00	295,84	17,39	38,24
	Noviembre	22,40	0,97	52,00	2,80	173,00	4,89	8,05	20,13	318,20	16,90	43,37
ANUAL		21,30	0,98	65,00	0,00	203,67	2,74	8,29	20,71	276,63	17,83	40,62
2016	Junio	22,00	0,98	9,50	20,50	119,00	8,67	7,98	19,95	215,00	19,52	66,92
	Julio	20,40	1,00	55,00	1,75	50,00	17,50	8,42	21,05	245,10	18,64	58,65
	Agosto	22,00	0,98	17,00	15,05	50,00	17,50	8,10	20,25	284,66	17,64	68,68
	Septiembre	23,90	0,95	26,00	11,90	232,00	0,76	8,25	20,63	254,56	18,39	49,16
	Octubre	23,30	0,96	95,00	0,00	178,50	4,51	7,39	18,48	288,10	17,56	38,87
	Noviembre	23,90	0,95	48,00	4,20	125,00	8,25	7,73	19,33	335,40	16,55	45,97
ANUAL		22,58	0,97	41,75	6,39	125,75	8,20	7,98	19,95	270,47	17,99	50,82
2018	Junio	21,80	0,98	61,50	0,00	258,50	0,00	8,92	22,30	208,12	19,74	41,09
	Julio	19,90	1,00	54,00	2,10	318,00	0,00	9,56	23,90	215,86	19,49	45,55
	Agosto	21,30	0,98	41,00	6,65	132,00	7,76	8,87	22,18	290,68	17,50	53,21
	Septiembre	22,50	0,97	56,00	1,40	61,00	15,85	9,06	22,65	331,96	16,62	54,75
	Octubre	22,20	0,97	95,00	0,00	318,00	0,00	8,89	22,23	354,32	16,18	37,35
	Noviembre	23,10	0,96	77,00	0,00	378,00	0,00	8,46	21,15	337,98	16,50	36,19
ANUAL		21,80	0,98	64,08	0,00	244,25	0,10	8,96	22,40	289,82	17,52	39,12

Año	MES	T (°C)	Ecuación	DQO (mg/L)	Ecuación	SST (mg/L)	Ecuación	OD (mg/L)	Ecuación	CE (uS/cm)	Ecuación	ISQA
2019	Junio	23,30	0,96	70,00	0,00	98,00	10,30	8,97	22,43	222,74	19,28	49,86
	Julio	20,10	1,00	38,00	7,70	121,00	8,53	8,16	20,40	255,42	18,37	54,93
	Agosto	22,40	0,97	49,00	3,85	56,00	16,60	7,15	17,88	295,84	17,39	54,04
	Septiembre	23,00	0,96	38,00	7,70	71,00	14,35	7,57	18,93	355,18	16,16	55,00
	Octubre	21,80	0,98	198,00	0,00	360,00	0,00	8,02	20,05	210,70	19,66	38,81
	Noviembre	24,40	0,95	190,00	0,00	204,12	2,71	7,78	19,45	191,78	20,28	40,11
ANUAL		22,50	0,97	97,17	0,00	151,69	6,38	7,94	19,85	255,28	18,37	43,21

Elaborado por: Germania Iza

Anexo 18

Calculo del ISQA en la Época Lluviosa del Río Guayllabamba Periodo 2013-2019

Año	Parámetros fisicoquímicos	Octubre	Noviembre	Promedio	Ecuación
2013	T(°C)	20,3	22,4	21,35	0,98
	DQO (mg/L)	119	52	85,5	0
	SST (mg/L)	437	173	305	0
	OD(mg/L)	8,4	8,05	8,23	20,56
	CE (uS/cm) a 18°C	295,84	318,2	307,02	17,14
	ISQA				37,06
2016	T(°C)	23,3	23,9	23,6	0,96
	DQO (mg/L)	95	48	71,5	0
	SST (mg/L)	178,5	125	151,75	0
	OD(mg/L)	7,39	7,73	7,56	18,9
	CE (uS/cm) a 18°C	288,1	335,4	311,75	17,04
	ISQA				34,32
2018	T(°C)	22,2	23,1	22,65	0,97
	DQO (mg/L)	95	77	86	0
	SST (mg/L)	318	378	348	0
	OD(mg/L)	8,89	8,46	8,68	21,69
	CE (uS/cm) a 18°C	354,32	337,98	346,15	16,34
	ISQA				36,76
2019	T(°C)	21,8	24,4	23,1	0,96
	DQO (mg/L)	198	190	194	0
	SST (mg/L)	360	204,12	282,06	0
	OD(mg/L)	8,02	7,78	7,9	19,75
	CE (uS/cm) a 18°C	210,7	191,78	201,24	19,96
	ISQA				38,17

Elaborado por: Germania Iza

Anexo 19

Calculo del ISQA en la Época Seca del Río Guayllabamba Periodo 2013-2019

Año	Parámetros fisicoquímicos	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Promedio	Ecuación
2013	T(°C)	20,1	21,4	21,8	21,8	21,28	0,98
	DQO (mg/L)	22	30	73	94	54,75	1,84
	SST (mg/L)	77	271	208	56	153	6,29
	OD(mg/L)	8,75	8,48	8,01	8,02	8,32	20,79
	CE (uS/cm) a 18°C	205,54	217,58	305,3	317,34	261,44	18,21
	ISQA						46,38
2016	T(°C)	22	20,4	22	23,9	22,08	0,97
	DQO (mg/L)	9,5	55	17	26	26,88	11,59
	SST (mg/L)	119	50	50	232	112,75	9,11
	OD(mg/L)	7,98	8,42	8,1	8,25	8,19	20,47
	CE (uS/cm) a 18°C	215	245,1	284,66	254,56	249,83	18,52
	ISQA						58,14
2018	T(°C)	21,8	19,9	21,3	22,5	21,38	0,98
	DQO (mg/L)	61,5	54	41	56	53,13	2,41
	SST (mg/L)	258,5	318	132	61	192,38	0
	OD(mg/L)	8,92	9,56	8,87	9,06	9,1	22,76
	CE (uS/cm) a 18°C	208,12	215,86	290,68	331,96	261,66	18,21
	ISQA						42,62
2019	T(°C)	23,3	20,1	22,4	23	22,2	0,97
	DQO (mg/L)	70	38	49	38	48,75	3,94
	SST (mg/L)	98	121	56	71	86,5	12,03
	OD(mg/L)	8,97	8,16	7,15	7,57	7,96	19,91
	CE (uS/cm) a 18°C	222,74	255,42	295,84	355,18	282,3	17,7
	ISQA						52,09

Elaborado por: Germania Iza

Anexo 20

Método Matemático de Descomposición de Series de Tiempo

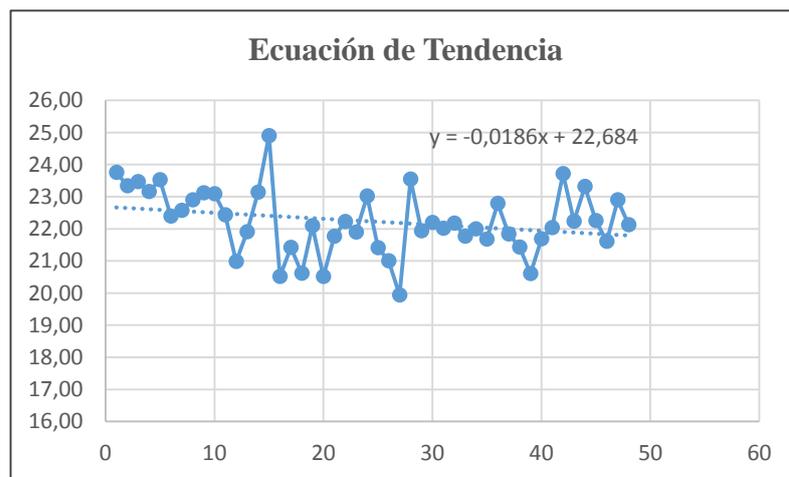
Método de Descomposición de Series de Tiempo de Temperatura

Año	Meses	y	T (°C)	Índice estacional	T/I.Est	Yt Y=22,68-0,01858X	Ajuste
2016	Enero	1	23,75	1,000	23,76	22,66142	22,65
	Febrero	2	23,50	1,007	23,34	22,64284	22,80
	Marzo	3	24,60	1,048	23,47	22,62426	23,71
	Abril	4	23,70	1,023	23,16	22,60568	23,14
	Mayo	5	22,85	0,971	23,53	22,5871	21,94
	Junio	6	22,00	0,982	22,39	22,56852	22,17
	Julio	7	20,40	0,904	22,57	22,54994	20,38
	Agosto	8	22,00	0,960	22,91	22,53136	21,64
	Septiembre	9	23,90	1,034	23,12	22,51278	23,27
	Octubre	10	23,30	1,009	23,09	22,4942	22,70
	Noviembre	11	23,90	1,065	22,43	22,47562	23,95
	Diciembre	12	20,90	0,996	20,98	22,45704	22,37
2017	Enero	13	21,90	1,000	21,91	22,43846	22,43
	Febrero	14	23,30	1,007	23,14	22,41988	22,57
	Marzo	15	26,10	1,048	24,90	22,4013	23,48
	Abril	16	21,00	1,023	20,52	22,38272	22,91
	Mayo	17	20,80	0,971	21,42	22,36414	21,72
	Junio	18	20,25	0,982	20,61	22,34556	21,95
	Julio	19	19,97	0,904	22,09	22,32698	20,18
	Agosto	20	19,70	0,960	20,51	22,3084	21,43
	Septiembre	21	22,50	1,034	21,77	22,28982	23,04
	Octubre	22	22,42	1,009	22,22	22,27124	22,47
	Noviembre	23	23,33	1,065	21,90	22,25266	23,71
	Diciembre	24	22,93	0,996	23,02	22,23408	22,15
2018	Enero	25	21,40	1,000	21,41	22,2155	22,21
	Febrero	26	21,15	1,007	21,01	22,19692	22,35
	Marzo	27	20,90	1,048	19,94	22,17834	23,25
	Abril	28	24,10	1,023	23,55	22,15976	22,68
	Mayo	29	21,30	0,971	21,93	22,14118	21,50
	Junio	30	21,80	0,982	22,19	22,1226	21,73
	Julio	31	19,90	0,904	22,02	22,10402	19,98
	Agosto	32	21,30	0,960	22,18	22,08544	21,21
	Septiembre	33	22,50	1,034	21,77	22,06686	22,81
	Octubre	34	22,20	1,009	22,00	22,04828	22,25
	Noviembre	35	23,10	1,065	21,68	22,0297	23,47
	Diciembre	36	22,70	0,996	22,79	22,01112	21,92
2019	Enero	37	21,83	1,000	21,84	21,99254	21,98
	Febrero	38	21,57	1,007	21,43	21,97396	22,12
	Marzo	39	21,60	1,048	20,61	21,95538	23,01
	Abril	40	22,20	1,023	21,69	21,9368	22,45
	Mayo	41	21,40	0,971	22,04	21,91822	21,29
	Junio	42	23,30	0,982	23,72	21,89964	21,51
	Julio	43	20,10	0,904	22,24	21,88106	19,78
	Agosto	44	22,40	0,960	23,32	21,86248	21,00
	Septiembre	45	23,00	1,034	22,25	21,8439	22,58
	Octubre	46	21,80	1,009	21,60	21,82532	22,02
	Noviembre	47	24,40	1,065	22,90	21,80674	23,23
	Diciembre	48	22,04	0,996	22,13	21,78816	21,70

Año	Meses	y	T (°C)	Índice estacional	T/I.Est	Yt Y=22,68-0,01858X	Pronóstico
2020	Enero	49		1,000		21,76958	21,76
	Febrero	50		1,007		21,751	21,90
	Marzo	51		1,048		21,73242	22,78
	Abril	52		1,023		21,71384	22,22
	Mayo	53		0,971		21,69526	21,07
	Junio	54		0,982		21,67668	21,29
	Julio	55		0,904		21,6581	19,58
	Agosto	56		0,960		21,63952	20,78
	Septiembre	57		1,034		21,62094	22,35
	Octubre	58		1,009		21,60236	21,80
	Noviembre	59		1,065		21,58378	23,00
	Diciembre	60		0,996		21,5652	21,48
2021	Enero	61		1,000		21,54662	21,54
	Febrero	62		1,007		21,52804	21,68
	Marzo	63		1,048		21,50946	22,55
	Abril	64		1,023		21,49088	21,99
	Mayo	65		0,971		21,4723	20,85
	Junio	66		0,982		21,45372	21,08
	Julio	67		0,904		21,43514	19,37
	Agosto	68		0,960		21,41656	20,57
	Septiembre	69		1,034		21,39798	22,12
	Octubre	70		1,009		21,3794	21,57
	Noviembre	71		1,065		21,36082	22,76
	Diciembre	72		0,996		21,34224	21,26
2022	Enero	73		1,000		21,32366	21,31
	Febrero	74		1,007		21,30508	21,45
	Marzo	75		1,048		21,2865	22,31
	Abril	76		1,023		21,26792	21,77
	Mayo	77		0,971		21,24934	20,64
	Junio	78		0,982		21,23076	20,86
	Julio	79		0,904		21,21218	19,17
	Agosto	80		0,960		21,1936	20,36
	Septiembre	81		1,034		21,17502	21,89
	Octubre	82		1,009		21,15644	21,35
	Noviembre	83		1,065		21,13786	22,52
	Diciembre	84		0,996		21,11928	21,04
2023	Enero	85		1,000		21,1007	21,09
	Febrero	86		1,007		21,08212	21,23
	Marzo	87		1,048		21,06354	22,08
	Abril	88		1,023		21,04496	21,54
	Mayo	89		0,971		21,02638	20,42
	Junio	90		0,982		21,0078	20,64
	Julio	91		0,904		20,98922	18,97
	Agosto	92		0,960		20,97064	20,14
	Septiembre	93		1,034		20,95206	21,66
	Octubre	94		1,009		20,93348	21,12
	Noviembre	95		1,065		20,9149	22,28
	Diciembre	96		0,996		20,89632	20,81

Año	Meses	y	T (°C)	Índice estacional	T/I.Est	Yt Y=22,68-0,01858X	Pronóstico
2024	Enero	97		1,000		20,87774	20,87
	Febrero	98		1,007		20,85916	21,00
	Marzo	99		1,048		20,84058	21,84
	Abril	100		1,023		20,822	21,31
	Mayo	101		0,971		20,80342	20,20
	Junio	102		0,982		20,78484	20,42
	Julio	103		0,904		20,76626	18,77
	Agosto	104		0,960		20,74768	19,93
	Septiembre	105		1,034		20,7291	21,42
	Octubre	106		1,009		20,71052	20,90
	Noviembre	107		1,065		20,69194	22,05
	Diciembre	108		0,996		20,67336	20,59

Índices estacionales		
PROMEDIO	22,23	
promedio 1	22,22	1,000
promedio 2	22,38	1,007
promedio 3	23,30	1,048
promedio 4	22,75	1,023
promedio 5	21,59	0,971
promedio 6	21,84	0,982
promedio 7	20,09	0,904
promedio 8	21,35	0,960
promedio 9	22,98	1,034
promedio 10	22,43	1,009
promedio 11	23,68	1,065
promedio 12	22,14	0,996



T (°C)	Ajuste	MAPE	MAD	MSD
23,75	22,65	0,046241835	1,098243574	1,206138947
23,50	22,80	0,029896319	0,702563486	0,493595451
24,60	23,71	0,036003009	0,885674027	0,784418483
23,70	23,14	0,023817289	0,564469747	0,318626095
22,85	21,94	0,040031236	0,914713742	0,836701229
22,00	22,17	0,007775505	0,171061109	0,029261903
20,40	20,38	0,000852327	0,017387463	0,000302324
22,00	21,64	0,01634436	0,359575921	0,129294843
23,90	23,27	0,0264299	0,631674603	0,399012804
23,30	22,70	0,025831535	0,601874759	0,362253226
23,90	23,95	0,001904648	0,045521095	0,00207217
20,90	22,37	0,070283057	1,468915895	2,157713908
21,90	22,43	0,024150297	0,528891504	0,279726223
23,30	22,57	0,031203681	0,72704577	0,528595552
26,10	23,48	0,100359254	2,619376527	6,861133391
21,00	22,91	0,090825921	1,907344336	3,637962415
20,80	21,72	0,044171173	0,918760391	0,844120655
20,25	21,95	0,084050751	1,702027704	2,896898305
19,97	20,18	0,010569942	0,211081744	0,044555503
19,70	21,43	0,087628445	1,726280372	2,980043921
22,50	23,04	0,023905898	0,537882696	0,289317795
22,42	22,47	0,002280972	0,051143957	0,002615704
23,33	23,71	0,016157882	0,376979555	0,142113585
22,93	22,15	0,034028402	0,780169183	0,608663954
21,40	22,21	0,037664794	0,806026581	0,64967885
21,15	22,35	0,05666534	1,198471946	1,436335005
20,90	23,25	0,11229287	2,346920973	5,508038054
24,10	22,68	0,058956082	1,420841582	2,0187908
21,30	21,50	0,009494579	0,202234523	0,040898802
21,80	21,73	0,003073656	0,067005701	0,004489764
19,90	19,98	0,003997535	0,079550951	0,006328354
21,30	21,21	0,004125039	0,087863335	0,007719966
22,50	22,81	0,013664	0,307439995	0,094519351
22,20	22,25	0,00216949	0,048162672	0,002319643
23,10	23,47	0,016036278	0,370438015	0,137224323
22,70	21,92	0,03415217	0,775254261	0,60101917
21,83	21,98	0,007108377	0,155161659	0,02407514
21,57	22,12	0,025540707	0,550989662	0,303589607
21,60	23,01	0,065426781	1,413218473	1,997186453
22,20	22,45	0,011305068	0,250972501	0,062987196
21,40	21,29	0,005340717	0,114291345	0,013062511
23,30	21,51	0,076654039	1,786039106	3,189935689
20,10	19,78	0,016018898	0,321979842	0,103671019
22,40	21,00	0,0625896	1,402007042	1,965623746
23,00	22,58	0,018391422	0,423002706	0,178931289
21,80	22,02	0,010237678	0,223181388	0,049809932
24,40	23,23	0,047832112	1,167103525	1,362130637
22,04	21,70	0,015305778	0,33733934	0,11379783

MAPE	3,309972177
MAD	0,737586589
MSD	0,952235448

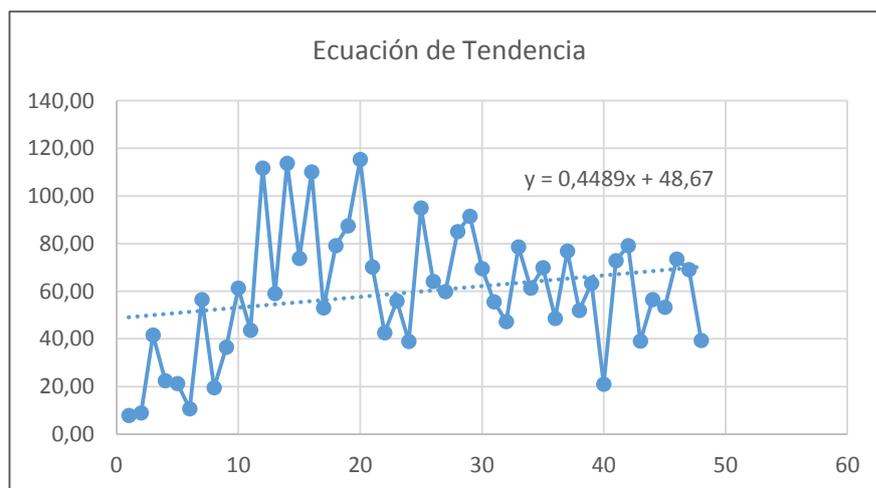
Método de Descomposición de Series de Tiempo de Demanda Química de Oxígeno

Año	Meses	y	DQO (mg/L)	Índice estacional	DQO/I.Est	Yt $y=48,67+0,4489x$	Ajuste
2016	Enero	1	6,75	0,864	7,81	49,1189	42,43
	Febrero	2	10,50	1,178	8,91	49,5678	58,39
	Marzo	3	48,00	1,152	41,66	50,0167	57,63
	Abril	4	22,50	0,999	22,52	50,4656	50,43
	Mayo	5	16,00	0,754	21,22	50,9145	38,40
	Junio	6	9,50	0,884	10,75	51,3634	45,41
	Julio	7	55,00	0,972	56,58	51,8123	50,36
	Agosto	8	17,00	0,867	19,60	52,2612	45,32
	Septiembre	9	26,00	0,712	36,50	52,7101	37,54
	Octubre	10	95,00	1,550	61,28	53,159	82,41
	Noviembre	11	48,00	1,100	43,62	53,6079	58,99
	Diciembre	12	108,00	0,966	111,75	54,0568	52,24
2017	Enero	13	51,00	0,864	59,04	54,5057	47,08
	Febrero	14	134,00	1,178	113,76	54,9546	64,73
	Marzo	15	85,00	1,152	73,77	55,4035	63,83
	Abril	16	110,00	0,999	110,08	55,8524	55,81
	Mayo	17	40,00	0,754	53,04	56,3013	42,46
	Junio	18	70,00	0,884	79,18	56,7502	50,17
	Julio	19	85,00	0,972	87,45	57,1991	55,60
	Agosto	20	100,00	0,867	115,30	57,648	50,00
	Septiembre	21	50,00	0,712	70,20	58,0969	41,38
	Octubre	22	66,00	1,550	42,57	58,5458	90,76
	Noviembre	23	61,60	1,100	55,98	58,9947	64,92
	Diciembre	24	37,60	0,966	38,91	59,4436	57,45
2018	Enero	25	82,00	0,864	94,93	59,8925	51,74
	Febrero	26	75,50	1,178	64,09	60,3414	71,08
	Marzo	27	69,00	1,152	59,89	60,7903	70,04
	Abril	28	85,00	0,999	85,06	61,2392	61,19
	Mayo	29	69,00	0,754	91,49	61,6881	46,52
	Junio	30	61,50	0,884	69,57	62,137	54,93
	Julio	31	54,00	0,972	55,55	62,5859	60,83
	Agosto	32	41,00	0,867	47,27	63,0348	54,67
	Septiembre	33	56,00	0,712	78,62	63,4837	45,22
	Octubre	34	95,00	1,550	61,28	63,9326	99,11
	Noviembre	35	77,00	1,100	69,97	64,3815	70,85
	Diciembre	36	47,00	0,966	48,63	64,8304	62,66
2019	Enero	37	66,42	0,864	76,89	65,2793	56,39
	Febrero	38	61,16	1,178	51,92	65,7282	77,43
	Marzo	39	73,00	1,152	63,36	66,1771	76,25
	Abril	40	21,00	0,999	21,02	66,626	66,58
	Mayo	41	55,00	0,754	72,93	67,0749	50,58
	Junio	42	70,00	0,884	79,18	67,5238	59,69
	Julio	43	38,00	0,972	39,09	67,9727	66,07
	Agosto	44	49,00	0,867	56,50	68,4216	59,34
	Septiembre	45	38,00	0,712	53,35	68,8705	49,05
	Octubre	46	114,00	1,550	73,54	69,3194	107,46
	Noviembre	47	76,04	1,100	69,10	69,7683	76,77
	Diciembre	48	38,07	0,966	39,39	70,2172	67,86

Año	Meses	y	T (°C)	Indice estacional	T/I.Est	Yt Y=22,68-0,01858X	Pronóstico
2020	Enero	49		1,000		21,76958	21,76
	Febrero	50		1,007		21,751	21,90
	Marzo	51		1,048		21,73242	22,78
	Abril	52		1,023		21,71384	22,22
	Mayo	53		0,971		21,69526	21,07
	Junio	54		0,982		21,67668	21,29
	Julio	55		0,904		21,6581	19,58
	Agosto	56		0,960		21,63952	20,78
	Septiembre	57		1,034		21,62094	22,35
	Octubre	58		1,009		21,60236	21,80
	Noviembre	59		1,065		21,58378	23,00
	Diciembre	60		0,996		21,5652	21,48
2021	Enero	61		1,000		21,54662	21,54
	Febrero	62		1,007		21,52804	21,68
	Marzo	63		1,048		21,50946	22,55
	Abril	64		1,023		21,49088	21,99
	Mayo	65		0,971		21,4723	20,85
	Junio	66		0,982		21,45372	21,08
	Julio	67		0,904		21,43514	19,37
	Agosto	68		0,960		21,41656	20,57
	Septiembre	69		1,034		21,39798	22,12
	Octubre	70		1,009		21,3794	21,57
	Noviembre	71		1,065		21,36082	22,76
	Diciembre	72		0,996		21,34224	21,26
2022	Enero	73		1,000		21,32366	21,31
	Febrero	74		1,007		21,30508	21,45
	Marzo	75		1,048		21,2865	22,31
	Abril	76		1,023		21,26792	21,77
	Mayo	77		0,971		21,24934	20,64
	Junio	78		0,982		21,23076	20,86
	Julio	79		0,904		21,21218	19,17
	Agosto	80		0,960		21,1936	20,36
	Septiembre	81		1,034		21,17502	21,89
	Octubre	82		1,009		21,15644	21,35
	Noviembre	83		1,065		21,13786	22,52
	Diciembre	84		0,996		21,11928	21,04
2023	Enero	85		1,000		21,1007	21,09
	Febrero	86		1,007		21,08212	21,23
	Marzo	87		1,048		21,06354	22,08
	Abril	88		1,023		21,04496	21,54
	Mayo	89		0,971		21,02638	20,42
	Junio	90		0,982		21,0078	20,64
	Julio	91		0,904		20,98922	18,97
	Agosto	92		0,960		20,97064	20,14
	Septiembre	93		1,034		20,95206	21,66
	Octubre	94		1,009		20,93348	21,12
	Noviembre	95		1,065		20,9149	22,28
	Diciembre	96		0,996		20,89632	20,81

Año	Meses	y	T (°C)	Índice estacional	T/I.Est	Yt Y=22,68-0,01858X	Pronóstico
2024	Enero	97		1,000		20,87774	20,87
	Febrero	98		1,007		20,85916	21,00
	Marzo	99		1,048		20,84058	21,84
	Abril	100		1,023		20,822	21,31
	Mayo	101		0,971		20,80342	20,20
	Junio	102		0,982		20,78484	20,42
	Julio	103		0,904		20,76626	18,77
	Agosto	104		0,960		20,74768	19,93
	Septiembre	105		1,034		20,7291	21,42
	Octubre	106		1,009		20,71052	20,90
	Noviembre	107		1,065		20,69194	22,05
	Diciembre	108		0,996		20,67336	20,59

Índices estacionales		
PROMEDIO	59,67	
promedio 1	51,54	0,864
promedio 2	70,29	1,178
promedio 3	68,75	1,152
promedio 4	59,63	0,999
promedio 5	45,00	0,754
promedio 6	52,75	0,884
promedio 7	58,00	0,972
promedio 8	51,75	0,867
promedio 9	42,50	0,712
promedio 10	92,50	1,550
promedio 11	65,66	1,100
promedio 12	57,67	0,966



DQO (mg/L)	Ajuste	MAPE	MAD	MSD
6,75	42,43	5,2857643	35,67890903	1272,984549
10,50	58,39	4,560885048	47,889293	2293,384384
48,00	57,63	0,200588703	9,628257746	92,70334723
22,50	50,43	1,241243629	27,92798164	779,9721586
16,00	38,40	1,399837124	22,39739398	501,643257
9,50	45,41	3,779697105	35,9071225	1289,321446
55,00	50,36	0,084315362	4,637344888	21,50496761
17,00	45,32	1,666174456	28,32496576	802,3036852
26,00	37,54	0,443966691	11,54313397	133,2439417
95,00	82,41	0,132553532	12,59258555	158,5732107
48,00	58,99	0,228955588	10,98986824	120,7772039
108,00	52,24	0,51626729	55,75686737	3108,828259
51,00	47,08	0,076822996	3,917972781	15,35051072
134,00	64,73	0,516904685	69,26522781	4797,671783
85,00	63,83	0,249002086	21,16517727	447,9647289
110,00	55,81	0,492629398	54,18923382	2936,473062
40,00	42,46	0,061496822	2,459872876	6,050974567
70,00	50,17	0,283296421	19,83074946	393,2586241
85,00	55,60	0,345897188	29,40126097	864,4341469
100,00	50,00	0,500031835	50,00318351	2500,318361
50,00	41,38	0,172401608	8,620080408	74,30578624
66,00	90,76	0,375122205	24,75806552	612,9618085
61,60	64,92	0,053855135	3,31747634	11,00564926
37,60	57,45	0,527904238	19,84919934	393,9907143
82,00	51,74	0,369083593	30,26485459	915,9614233
75,50	71,08	0,058539717	4,419748614	19,53417781
69,00	70,04	0,015092576	1,041387714	1,084488371
85,00	61,19	0,280075874	23,80644928	566,7470272
69,00	46,52	0,325763018	22,47764823	505,2446697
61,50	54,93	0,106806852	6,568621416	43,14678731
54,00	60,83	0,126570795	6,83482294	46,71480462
41,00	54,67	0,333382127	13,66866722	186,8324637
56,00	45,22	0,192558835	10,78329478	116,2794464
95,00	99,11	0,043249648	4,108716593	16,88155204
77,00	70,85	0,079933968	6,154915561	37,88298556
47,00	62,66	0,333090767	15,65526605	245,087355
66,42	56,39	0,151034875	10,0317364	100,6357352
61,16	77,43	0,266057241	16,27073058	264,7366736
73,00	76,25	0,044492503	3,247952698	10,54919673
21,00	66,58	2,170301679	45,57633526	2077,202336
55,00	50,58	0,080275806	4,415169327	19,49372018
70,00	59,69	0,14723562	10,30649337	106,2238057
38,00	66,07	0,738708075	28,07090685	787,9758116
49,00	59,34	0,211030979	10,34051796	106,9263116
38,00	49,05	0,290881338	11,05349084	122,1796599
114,00	107,46	0,057373968	6,540632338	42,77987137
76,04	76,77	0,00963562	0,732692539	0,536838356
38,07	67,86	0,782540918	29,79133275	887,5235073

MAPE	3,309972177
MAD	0,737586589
MSD	0,952235448

Elaborado por: Germania Iza

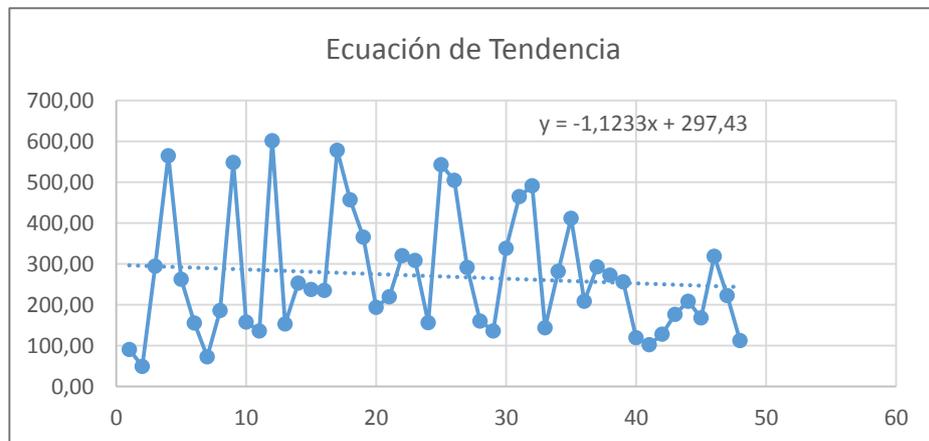
Método de Descomposición de Series de Tiempo de Sólidos Suspendidos Totales

Año	Meses	y	SST (mg/L)	Índice estacional	SST/I.Est	Yt $Y = 297,43 - 1,1232x$	Ajuste
2016	Enero	1	105,0	1,161	90,46	296,3068	343,94
	Febrero	2	59,0	1,188	49,67	295,1836	350,64
	Marzo	3	573,3	1,948	294,29	294,0604	572,88
	Abril	4	648,0	1,148	564,66	292,9372	336,18
	Mayo	5	383,5	1,460	262,63	291,814	426,11
	Junio	6	119,0	0,764	155,82	290,6908	221,99
	Julio	7	50,0	0,684	73,05	289,5676	198,20
	Agosto	8	50,0	0,269	186,15	288,4444	77,48
	Septiembre	9	232,0	0,423	548,09	287,3212	121,62
	Octubre	10	178,5	1,128	158,22	286,198	322,87
	Noviembre	11	125,0	0,918	136,23	285,0748	261,57
	Diciembre	12	547,0	0,910	601,33	283,9516	258,30
2017	Enero	13	178,0	1,161	153,35	282,8284	328,29
	Febrero	14	301,0	1,188	253,40	281,7052	334,63
	Marzo	15	462,0	1,948	237,15	280,582	546,62
	Abril	16	270,0	1,148	235,27	279,4588	320,71
	Mayo	17	844,0	1,460	578,00	278,3356	406,43
	Junio	18	349,0	0,764	457,00	277,2124	211,70
	Julio	19	250,0	0,684	365,24	276,0892	188,98
	Agosto	20	52,0	0,269	193,59	274,966	73,86
	Septiembre	21	93,0	0,423	219,71	273,8428	115,91
	Octubre	22	361,5	1,128	320,44	272,7196	307,67
	Noviembre	23	283,5	0,918	308,98	271,5964	249,20
	Diciembre	24	142,5	0,910	156,65	270,4732	246,04
2018	Enero	25	630,0	1,161	542,75	269,35	312,65
	Febrero	26	599,0	1,188	504,27	268,2268	318,61
	Marzo	27	568,0	1,948	291,56	267,1036	520,36
	Abril	28	184,0	1,148	160,33	265,9804	305,24
	Mayo	29	199,0	1,460	136,28	264,8572	386,75
	Junio	30	258,5	0,764	338,49	263,734	201,41
	Julio	31	318,0	0,684	464,58	262,6108	179,75
	Agosto	32	132,0	0,269	491,42	261,4876	70,24
	Septiembre	33	61,0	0,423	144,11	260,3644	110,21
	Octubre	34	318,0	1,128	281,88	259,2412	292,46
	Noviembre	35	378,0	0,918	411,97	258,118	236,83
	Diciembre	36	190,0	0,910	208,87	256,9948	233,78
2019	Enero	37	340,2	1,161	293,09	255,8716	297,00
	Febrero	38	323,5	1,188	272,31	254,7484	302,60
	Marzo	39	500,0	1,948	256,65	253,6252	494,11
	Abril	40	137,0	1,148	119,38	252,502	289,77
	Mayo	41	150,0	1,460	102,73	251,3788	367,06
	Junio	42	98,0	0,764	128,33	250,2556	191,11
	Julio	43	121,0	0,684	176,78	249,1324	170,53
	Agosto	44	56,0	0,269	208,48	248,0092	66,62
	Septiembre	45	71,0	0,423	167,73	246,886	104,50
	Octubre	46	360,0	1,128	319,11	245,7628	277,26
	Noviembre	47	204,1	0,918	222,46	244,6396	224,47
	Diciembre	48	102,6	0,910	112,79	243,5164	221,52

Año	Meses	y	SST (mg/L)	Índice estacional	SST/L.Est	Yt Y = 297,43-1,1232x	Pronóstico
2020	Enero	49		1,161		242,3932	281,36
	Febrero	50		1,188		241,27	286,59
	Marzo	51		1,948		240,1468	467,85
	Abril	52		1,148		239,0236	274,30
	Mayo	53		1,460		237,9004	347,38
	Junio	54		0,764		236,7772	180,82
	Julio	55		0,684		235,654	161,30
	Agosto	56		0,269		234,5308	63,00
	Septiembre	57		0,423		233,4076	98,80
	Octubre	58		1,128		232,2844	262,05
	Noviembre	59		0,918		231,1612	212,10
	Diciembre	60		0,910		230,038	209,25
2021	Enero	61		1,161		228,9148	265,71
	Febrero	62		1,188		227,7916	270,58
	Marzo	63		1,948		226,6684	441,59
	Abril	64		1,148		225,5452	258,84
	Mayo	65		1,460		224,422	327,70
	Junio	66		0,764		223,2988	170,53
	Julio	67		0,684		222,1756	152,08
	Agosto	68		0,269		221,0524	59,38
	Septiembre	69		0,423		219,9292	93,09
	Octubre	70		1,128		218,806	246,85
	Noviembre	71		0,918		217,6828	199,73
	Diciembre	72		0,910		216,5596	196,99
2022	Enero	73		1,161		215,4364	250,07
	Febrero	74		1,188		214,3132	254,57
	Marzo	75		1,948		213,19	415,33
	Abril	76		1,148		212,0668	243,37
	Mayo	77		1,460		210,9436	308,02
	Junio	78		0,764		209,8204	160,24
	Julio	79		0,684		208,6972	142,85
	Agosto	80		0,269		207,574	55,76
	Septiembre	81		0,423		206,4508	87,39
	Octubre	82		1,128		205,3276	231,64
	Noviembre	83		0,918		204,2044	187,37
	Diciembre	84		0,910		203,0812	184,73
2023	Enero	85		1,161		201,958	234,42
	Febrero	86		1,188		200,8348	238,56
	Marzo	87		1,948		199,7116	389,07
	Abril	88		1,148		198,5884	227,90
	Mayo	89		1,460		197,4652	288,34
	Junio	90		0,764		196,342	149,94
	Julio	91		0,684		195,2188	133,62
	Agosto	92		0,269		194,0956	52,14
	Septiembre	93		0,423		192,9724	81,68
	Octubre	94		1,128		191,8492	216,43
	Noviembre	95		0,918		190,726	175,00
	Diciembre	96		0,910		189,6028	172,47

Año	Meses	y	SST (mg/L)	Índice estacional	SST/L.Est	Yt Y = 297,43-1,1232x	Pronóstico
2024	Enero	97		1,161		188,4796	218,78
	Febrero	98		1,188		187,3564	222,55
	Marzo	99		1,948		186,2332	362,81
	Abril	100		1,148		185,11	212,43
	Mayo	101		1,460		183,9868	268,66
	Junio	102		0,764		182,8636	139,65
	Julio	103		0,684		181,7404	124,40
	Agosto	104		0,269		180,6172	48,52
	Septiembre	105		0,423		179,494	75,98
	Octubre	106		1,128		178,3708	201,23
	Noviembre	107		0,918		177,2476	162,63
	Diciembre	108		0,910		176,1244	160,21

Índices estacionales		
PROMEDIO	269,91	
promedio 1	313,30	1,161
promedio 2	320,62	1,188
promedio 3	525,83	1,948
promedio 4	309,75	1,148
promedio 5	394,13	1,460
promedio 6	206,13	0,764
promedio 7	184,75	0,684
promedio 8	72,50	0,269
promedio 9	114,25	0,423
promedio 10	304,50	1,128
promedio 11	247,66	0,918
promedio 12	245,53	0,910



SST (mg/L)	Ajuste	MAPE	MAD	MSD
105,00	343,94	2,27561411	238,9394816	57092,07587
59,00	350,64	4,942977274	291,6356592	85051,3577
573,33	572,88	0,000784136	0,449568624	0,202111948
648,00	336,18	0,481210886	311,8246542	97234,61495
383,50	426,11	0,111104121	42,60843034	1815,478336
119,00	221,99	0,86549897	102,9943774	10607,84178
50,00	198,20	2,96409842	148,204921	21964,6986
50,00	77,48	0,549566194	27,47830972	755,057505
232,00	121,62	0,475777189	110,3803079	12183,81238
178,50	322,87	0,808821411	144,3746219	20844,03146
125,00	261,57	1,092550439	136,5688048	18651,03845
547,00	258,30	0,527792661	288,7025855	83349,18286
178,00	328,29	0,844350375	150,2943668	22588,39668
301,00	334,63	0,111711823	33,62525863	1130,658018
462,00	546,62	0,183164894	84,62218101	7160,913519
270,00	320,71	0,187805577	50,70750568	2571,251132
844,00	406,43	0,518451119	437,5728045	191469,9593
349,00	211,70	0,393406275	137,2987898	18850,95769
250,00	188,98	0,244083412	61,02085292	3723,544491
52,00	73,86	0,420344448	21,8579113	477,7682864
93,00	115,91	0,246391866	22,91444353	525,0717223
361,50	307,67	0,148910239	53,83105144	2897,782099
283,50	249,20	0,120981399	34,29822648	1176,36834
142,50	246,04	0,72657367	103,536748	10719,85819
630,00	312,65	0,503731346	317,350748	100711,4973
599,00	318,61	0,468088718	280,3851419	78615,8278
568,00	520,36	0,083866319	47,63606936	2269,195104
184,00	305,24	0,658911226	121,2396655	14699,0565
199,00	386,75	0,943447038	187,7459606	35248,54573
258,50	201,41	0,220858635	57,09195706	3259,491561
318,00	179,75	0,43473782	138,2466268	19112,12983
132,00	70,24	0,46789763	61,76248712	3814,604815
61,00	110,21	0,806708115	49,20919499	2421,544871
318,00	292,46	0,080304166	25,5367248	652,1243133
378,00	236,83	0,373453063	141,1652578	19927,63001
190,00	233,78	0,230400429	43,77608151	1916,345312
340,20	297,00	0,126971966	43,19586287	1865,882569
323,46	302,60	0,064476419	20,85554245	434,9536507
500,00	494,11	0,011788639	5,894319725	34,74300502
137,00	289,77	1,115122813	152,7718254	23339,23063
150,00	367,06	1,447098172	217,0647258	47117,09518
98,00	191,11	0,950151793	93,11487571	8670,380079
121,00	170,53	0,409319002	49,52759927	2452,98309
56,00	66,62	0,18959133	10,61711446	112,7231195
71,00	104,50	0,47188657	33,50394645	1122,514427
360,00	277,26	0,229839995	82,74239815	6846,304452
204,12	224,47	0,099685043	20,34771089	414,0293384
102,60	221,52	1,159019639	118,915415	14140,87592

MAPE	64,14443096
MAD	111,5716482
MSD	22125,86729

Elaborado por: Germania Iza

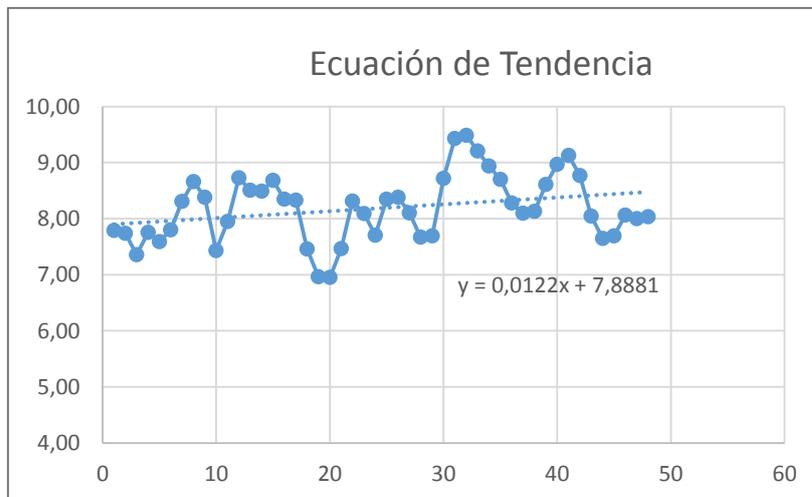
Método de Descomposición de Series de Tiempo de Oxígeno Disuelto

Año	Meses	y	OD (mg/L)	Índice estacional	OD/I.Est	Yt $Y= 7,88+0,0121x$	Ajuste
2016	Enero	1	7,71	0,989	7,79	7,8921	7,81
	Febrero	2	7,72	0,997	7,74	7,9042	7,88
	Marzo	3	7,69	1,046	7,35	7,9163	8,28
	Abril	4	8,00	1,031	7,76	7,9284	8,18
	Mayo	5	7,99	1,053	7,59	7,9405	8,36
	Junio	6	7,98	1,023	7,80	7,9526	8,14
	Julio	7	8,42	1,014	8,31	7,9647	8,07
	Agosto	8	8,10	0,935	8,66	7,9768	7,46
	Septiembre	9	8,25	0,984	8,38	7,9889	7,86
	Octubre	10	7,39	0,995	7,43	8,001	7,96
	Noviembre	11	7,73	0,972	7,95	8,0131	7,79
	Diciembre	12	8,39	0,961	8,73	8,0252	7,71
2017	Enero	13	8,42	0,989	8,51	8,0373	7,95
	Febrero	14	8,47	0,997	8,49	8,0494	8,03
	Marzo	15	9,08	1,046	8,68	8,0615	8,43
	Abril	16	8,61	1,031	8,35	8,0736	8,33
	Mayo	17	8,77	1,053	8,33	8,0857	8,51
	Junio	18	7,63	1,023	7,46	8,0978	8,28
	Julio	19	7,06	1,014	6,96	8,1099	8,22
	Agosto	20	6,50	0,935	6,95	8,122	7,59
	Septiembre	21	7,35	0,984	7,47	8,1341	8,01
	Octubre	22	8,27	0,995	8,31	8,1462	8,10
	Noviembre	23	7,87	0,972	8,09	8,1583	7,93
	Diciembre	24	7,40	0,961	7,70	8,1704	7,85
2018	Enero	25	8,26	0,989	8,35	8,1825	8,10
	Febrero	26	8,36	0,997	8,38	8,1946	8,17
	Marzo	27	8,47	1,046	8,10	8,2067	8,58
	Abril	28	7,91	1,031	7,67	8,2188	8,48
	Mayo	29	8,10	1,053	7,70	8,2309	8,66
	Junio	30	8,92	1,023	8,72	8,243	8,43
	Julio	31	9,56	1,014	9,43	8,2551	8,37
	Agosto	32	8,87	0,935	9,49	8,2672	7,73
	Septiembre	33	9,06	0,984	9,21	8,2793	8,15
	Octubre	34	8,89	0,995	8,94	8,2914	8,25
	Noviembre	35	8,46	0,972	8,70	8,3035	8,07
	Diciembre	36	7,96	0,961	8,28	8,3156	7,99
2019	Enero	37	8,01	0,989	8,10	8,3277	8,24
	Febrero	38	8,11	0,997	8,13	8,3398	8,32
	Marzo	39	9,00	1,046	8,61	8,3519	8,73
	Abril	40	9,25	1,031	8,97	8,364	8,63
	Mayo	41	9,61	1,053	9,13	8,3761	8,82
	Junio	42	8,97	1,023	8,77	8,3882	8,58
	Julio	43	8,16	1,014	8,05	8,4003	8,52
	Agosto	44	7,15	0,935	7,65	8,4124	7,87
	Septiembre	45	7,57	0,984	7,69	8,4245	8,29
	Octubre	46	8,02	0,995	8,06	8,4366	8,39
	Noviembre	47	7,78	0,972	8,00	8,4487	8,21
	Diciembre	48	7,72	0,961	8,03	8,4608	8,13

Año	Meses	y	OD (mg/L)	Índice estacional	OD/I.Est	Yt Y= 7,88+0,0121x	Pronóstico
2020	Enero	49		0,989		8,4729	8,38
	Febrero	50		0,997		8,485	8,46
	Marzo	51		1,046		8,4971	8,88
	Abril	52		1,031		8,5092	8,77
	Mayo	53		1,053		8,5213	8,97
	Junio	54		1,023		8,5334	8,73
	Julio	55		1,014		8,5455	8,66
	Agosto	56		0,935		8,5576	8,00
	Septiembre	57		0,984		8,5697	8,43
	Octubre	58		0,995		8,5818	8,53
	Noviembre	59		0,972		8,5939	8,36
	Diciembre	60		0,961		8,606	8,27
2021	Enero	61		0,989		8,6181	8,53
	Febrero	62		0,997		8,6302	8,61
	Marzo	63		1,046		8,6423	9,04
	Abril	64		1,031		8,6544	8,92
	Mayo	65		1,053		8,6665	9,12
	Junio	66		1,023		8,6786	8,88
	Julio	67		1,014		8,6907	8,81
	Agosto	68		0,935		8,7028	8,14
	Septiembre	69		0,984		8,7149	8,58
	Octubre	70		0,995		8,727	8,68
	Noviembre	71		0,972		8,7391	8,50
	Diciembre	72		0,961		8,7512	8,41
2022	Enero	73		0,989		8,7633	8,67
	Febrero	74		0,997		8,7754	8,75
	Marzo	75		1,046		8,7875	9,19
	Abril	76		1,031		8,7996	9,07
	Mayo	77		1,053		8,8117	9,28
	Junio	78		1,023		8,8238	9,03
	Julio	79		1,014		8,8359	8,96
	Agosto	80		0,935		8,848	8,27
	Septiembre	81		0,984		8,8601	8,72
	Octubre	82		0,995		8,8722	8,82
	Noviembre	83		0,972		8,8843	8,64
	Diciembre	84		0,961		8,8964	8,55
2023	Enero	85		0,989		8,9085	8,81
	Febrero	86		0,997		8,9206	8,90
	Marzo	87		1,046		8,9327	9,34
	Abril	88		1,031		8,9448	9,22
	Mayo	89		1,053		8,9569	9,43
	Junio	90		1,023		8,969	9,18
	Julio	91		1,014		8,9811	9,11
	Agosto	92		0,935		8,9932	8,41
	Septiembre	93		0,984		9,0053	8,86
	Octubre	94		0,995		9,0174	8,97
	Noviembre	95		0,972		9,0295	8,78
	Diciembre	96		0,961		9,0416	8,69

Año	Meses	y	OD (mg/L)	Índice estacional	OD/L.Est	Yt Y= 7,88+0,0121x	Pronóstico
2024	Enero	97		0,989		9,0537	8,96
	Febrero	98		0,997		9,0658	9,04
	Marzo	99		1,046		9,0779	9,49
	Abril	100		1,031		9,09	9,37
	Mayo	101		1,053		9,1021	9,58
	Junio	102		1,023		9,1142	9,32
	Julio	103		1,014		9,1263	9,25
	Agosto	104		0,935		9,1384	8,54
	Septiembre	105		0,984		9,1505	9,01
	Octubre	106		0,995		9,1626	9,11
	Noviembre	107		0,972		9,1747	8,92
	Diciembre	108		0,961		9,1868	8,83

Índices estacionales		
PROMEDIO	8,19	
promedio 1	8,10	0,989
promedio 2	8,16	0,997
promedio 3	8,56	1,046
promedio 4	8,44	1,031
promedio 5	8,62	1,053
promedio 6	8,38	1,023
promedio 7	8,30	1,014
promedio 8	7,66	0,935
promedio 9	8,06	0,984
promedio 10	8,14	0,995
promedio 11	7,96	0,972
promedio 12	7,87	0,961



OD (mg/L)	Ajuste	MAPE	MAD	MSD
7,71	7,81	0,012822998	0,098865317	0,009774351
7,72	7,88	0,02109704	0,162869148	0,026526359
7,69	8,28	0,076342564	0,587074318	0,344656255
8,00	8,18	0,021991964	0,175935714	0,030953376
7,99	8,36	0,046075929	0,368146672	0,135531972
7,98	8,14	0,019464035	0,155322997	0,024125233
8,42	8,07	0,041005163	0,345263474	0,119206866
8,10	7,46	0,07919064	0,641444183	0,41145064
8,25	7,86	0,046953268	0,387364461	0,150051226
7,39	7,96	0,076732385	0,567052322	0,321548336
7,73	7,79	0,007824643	0,060484492	0,003658374
8,39	7,71	0,080680021	0,676905372	0,458200883
8,42	7,95	0,055518533	0,467466047	0,218524505
8,47	8,03	0,052222279	0,442322699	0,19564937
9,08	8,43	0,071707973	0,651108395	0,423942142
8,61	8,33	0,033023338	0,284330939	0,080844083
8,77	8,51	0,029534349	0,25901624	0,067089413
7,63	8,28	0,08569583	0,653859187	0,427531836
7,06	8,22	0,164581096	1,161942541	1,350110468
6,50	7,59	0,168357281	1,094322328	1,197541357
7,35	8,01	0,089189205	0,655540655	0,42973355
8,27	8,10	0,020107796	0,166245228	0,027637476
7,87	7,93	0,008115436	0,063850626	0,004076902
7,40	7,85	0,060767237	0,449847703	0,202362956
8,26	8,10	0,019830195	0,163797411	0,026829592
8,36	8,17	0,02242997	0,187514547	0,035161705
8,47	8,58	0,013070707	0,110708892	0,012256459
7,91	8,48	0,071479445	0,565402408	0,319679883
8,10	8,66	0,069607512	0,563820848	0,317893948
8,92	8,43	0,054664196	0,487604624	0,23775827
9,56	8,37	0,124566051	1,190851445	1,418127163
8,87	7,73	0,128513096	1,139911161	1,299397456
9,06	8,15	0,10061305	0,91155423	0,830931113
8,89	8,25	0,072457006	0,644142779	0,41491992
8,46	8,07	0,04576634	0,38718324	0,149910862
7,96	7,99	0,004045324	0,032200778	0,00103689
8,01	8,24	0,028415569	0,227671225	0,051834187
8,11	8,32	0,025661422	0,208093606	0,043302949
9,00	8,73	0,029719313	0,267473821	0,071542245
9,25	8,63	0,067552891	0,624864246	0,390455326
9,61	8,82	0,082553805	0,793342064	0,629391631
8,97	8,58	0,043374407	0,389068435	0,151374247
8,16	8,52	0,043670903	0,35635457	0,126988579
7,15	7,87	0,100119629	0,71585535	0,512448882
7,57	8,29	0,095290738	0,721350886	0,520347101
8,02	8,39	0,046167041	0,37025967	0,137092223
7,78	8,21	0,055781863	0,433982894	0,188341152
7,72	8,13	0,053172286	0,410553854	0,168554467

MAPE	5,765674506
MAD	0,468336334
MSD	0,30658967

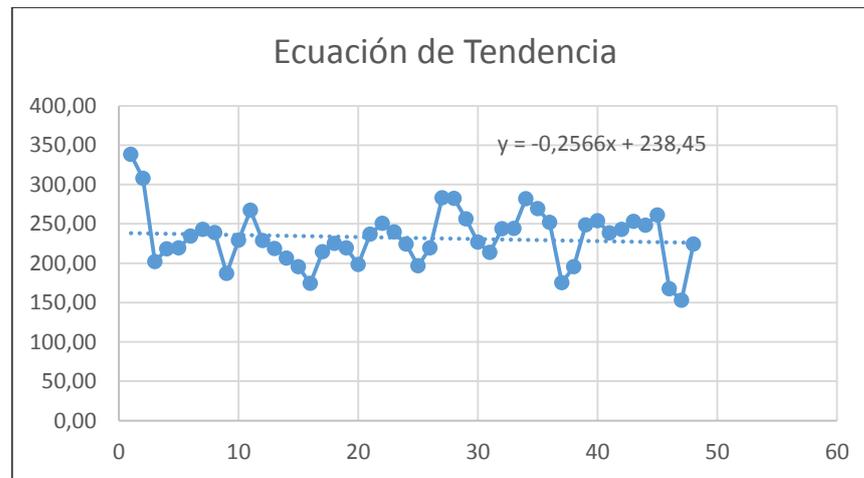
Método de Descomposición de Series de Tiempo de Conductividad Eléctrica

Año	Meses	y	CE (uS/cm)	Índice estacional	CE/I.Est	Yt Y = 238,45-0,2565X	Ajuste
2016	Enero	1	276,49	0,817	338,34	238,1935	194,65
	Febrero	2	253,70	0,825	307,56	237,937	196,27
	Marzo	3	143,62	0,711	201,99	237,6805	169,00
	Abril	4	145,68	0,668	218,22	237,424	158,50
	Mayo	5	180,34	0,822	219,33	237,1675	195,01
	Junio	6	215,00	0,918	234,25	236,911	217,44
	Julio	7	245,10	1,010	242,69	236,6545	239,00
	Agosto	8	284,66	1,193	238,65	236,398	281,97
	Septiembre	9	254,56	1,361	187,00	236,1415	321,46
	Octubre	10	288,10	1,258	228,97	235,885	296,80
	Noviembre	11	335,40	1,256	267,14	235,6285	295,84
	Diciembre	12	265,74	1,161	228,80	235,372	273,38
2017	Enero	13	178,62	0,817	218,58	235,1155	192,14
	Febrero	14	170,28	0,825	206,43	234,859	193,73
	Marzo	15	138,80	0,711	195,22	234,6025	166,81
	Abril	16	116,44	0,668	174,42	234,346	156,45
	Mayo	17	176,47	0,822	214,62	234,0895	192,48
	Junio	18	206,49	0,918	224,97	233,833	214,62
	Julio	19	221,49	1,010	219,32	233,5765	235,89
	Agosto	20	236,50	1,193	198,28	233,32	278,30
	Septiembre	21	322,50	1,361	236,90	233,0635	317,27
	Octubre	22	315,34	1,258	250,63	232,807	292,92
	Noviembre	23	300,80	1,256	239,58	232,5505	291,97
	Diciembre	24	260,24	1,161	224,06	232,294	269,80
2018	Enero	25	160,73	0,817	196,69	232,0375	189,62
	Febrero	26	180,99	0,825	219,41	231,781	191,19
	Marzo	27	201,24	0,711	283,03	231,5245	164,62
	Abril	28	188,34	0,668	282,12	231,268	154,39
	Mayo	29	210,70	0,822	256,25	231,0115	189,95
	Junio	30	208,12	0,918	226,75	230,755	211,79
	Julio	31	215,86	1,010	213,74	230,4985	232,78
	Agosto	32	290,68	1,193	243,70	230,242	274,63
	Septiembre	33	331,96	1,361	243,85	229,9855	313,08
	Octubre	34	354,32	1,258	281,60	229,729	289,05
	Noviembre	35	337,98	1,256	269,19	229,4725	288,11
	Diciembre	36	292,40	1,161	251,75	229,216	266,23
2019	Enero	37	143,05	0,817	175,05	228,9595	187,10
	Febrero	38	161,08	0,825	195,27	228,703	188,65
	Marzo	39	176,64	0,711	248,43	228,4465	162,43
	Abril	40	169,51	0,668	253,90	228,19	152,34
	Mayo	41	196,08	0,822	238,47	227,9335	187,42
	Junio	42	222,74	0,918	242,68	227,677	208,97
	Julio	43	255,42	1,010	252,91	227,4205	229,68
	Agosto	44	295,84	1,193	248,03	227,164	270,95
	Septiembre	45	355,18	1,361	260,91	226,9075	308,89
	Octubre	46	210,70	1,258	167,46	226,651	285,18
	Noviembre	47	191,78	1,256	152,75	226,3945	284,24
	Diciembre	48	260,24	1,161	224,06	226,138	262,65

Año	Meses	y	CE (uS/cm)	Índice estacional	CE/L.Est	Yt Y = 238,45-0,2565X	Pronóstico
2020	Enero	49		0,817		225,8815	184,59
	Febrero	50		0,825		225,625	186,12
	Marzo	51		0,711		225,3685	160,24
	Abril	52		0,668		225,112	150,28
	Mayo	53		0,822		224,8555	184,89
	Junio	54		0,918		224,599	206,14
	Julio	55		1,010		224,3425	226,57
	Agosto	56		1,193		224,086	267,28
	Septiembre	57		1,361		223,8295	304,70
	Octubre	58		1,258		223,573	281,30
	Noviembre	59		1,256		223,3165	280,38
	Diciembre	60		1,161		223,06	259,08
2021	Enero	61		0,817		222,8035	182,07
	Febrero	62		0,825		222,547	183,58
	Marzo	63		0,711		222,2905	158,06
	Abril	64		0,668		222,034	148,23
	Mayo	65		0,822		221,7775	182,36
	Junio	66		0,918		221,521	203,32
	Julio	67		1,010		221,2645	223,46
	Agosto	68		1,193		221,008	263,61
	Septiembre	69		1,361		220,7515	300,51
	Octubre	70		1,258		220,495	277,43
	Noviembre	71		1,256		220,2385	276,52
	Diciembre	72		1,161		219,982	255,50
2022	Enero	73		0,817		219,7255	179,56
	Febrero	74		0,825		219,469	181,04
	Marzo	75		0,711		219,2125	155,87
	Abril	76		0,668		218,956	146,17
	Mayo	77		0,822		218,6995	179,83
	Junio	78		0,918		218,443	200,49
	Julio	79		1,010		218,1865	220,35
	Agosto	80		1,193		217,93	259,94
	Septiembre	81		1,361		217,6735	296,32
	Octubre	82		1,258		217,417	273,56
	Noviembre	83		1,256		217,1605	272,65
	Diciembre	84		1,161		216,904	251,93
2023	Enero	85		0,817		216,6475	177,04
	Febrero	86		0,825		216,391	178,50
	Marzo	87		0,711		216,1345	153,68
	Abril	88		0,668		215,878	144,12
	Mayo	89		0,822		215,6215	177,29
	Junio	90		0,918		215,365	197,67
	Julio	91		1,010		215,1085	217,24
	Agosto	92		1,193		214,852	256,27
	Septiembre	93		1,361		214,5955	292,13
	Octubre	94		1,258		214,339	269,69
	Noviembre	95		1,256		214,0825	268,79
	Diciembre	96		1,161		213,826	248,35

Año	Meses	y	CE (uS/cm)	Índice estacional	CE/I.Est	Yt Y = 238,45- 0,2565X	Pronóstico
2024	Enero	97		0,817		213,5695	174,53
	Febrero	98		0,825		213,313	175,96
	Marzo	99		0,711		213,0565	151,49
	Abril	100		0,668		212,8	142,06
	Mayo	101		0,822		212,5435	174,76
	Junio	102		0,918		212,287	194,84
	Julio	103		1,010		212,0305	214,13
	Agosto	104		1,193		211,774	252,60
	Septiembre	105		1,361		211,5175	287,94
	Octubre	106		1,258		211,261	265,81
	Noviembre	107		1,256		211,0045	264,92
	Diciembre	108		1,161		210,748	244,78

Índices estacionales		
PROMEDIO	232,17	
promedio 1	189,72	0,817
promedio 2	191,51	0,825
promedio 3	165,08	0,711
promedio 4	154,99	0,668
promedio 5	190,90	0,822
promedio 6	213,09	0,918
promedio 7	234,47	1,010
promedio 8	276,92	1,193
promedio 9	316,05	1,361
promedio 10	292,12	1,258
promedio 11	291,49	1,256
promedio 12	269,65	1,161



CE (mg/L)	Ajuste	MAPE	MAD	MSD
276,49	194,65	0,295994002	81,83938158	6697,684378
253,70	196,27	0,226362001	57,42803969	3297,979742
143,62	169,00	0,176703219	25,37811634	644,0487887
145,68	158,50	0,087997731	12,81986141	164,3488465
180,34	195,01	0,081340711	14,66914643	215,1838571
215,00	217,44	0,01135691	2,441735552	5,962072505
245,10	239,00	0,024881847	6,098540588	37,1921973
284,66	281,97	0,009456803	2,691973458	7,246721101
254,56	321,46	0,262814889	66,90215822	4475,898774
288,10	296,80	0,030183176	8,695772865	75,61646572
335,40	295,84	0,11795451	39,56194257	1565,1473
265,74	273,38	0,028738201	7,636889552	58,32208203
178,62	192,14	0,075653006	13,51329116	182,609038
170,28	193,73	0,137731663	23,45294749	550,040746
138,80	166,81	0,201763379	28,00556405	784,3116176
116,44	156,45	0,343555647	40,0049938	1600,399529
176,47	192,48	0,09071274	16,00825873	256,2643476
206,49	214,62	0,039376445	8,130684533	66,10803097
221,49	235,89	0,065013044	14,39993415	207,3581035
236,50	278,30	0,176730173	41,7966859	1746,962952
322,50	317,27	0,016210725	5,22795882	27,33155343
315,34	292,92	0,071102601	22,42183545	502,7387048
300,80	291,97	0,029350371	8,828656163	77,94516964
260,24	269,80	0,036758531	9,565893095	91,50631071
160,73	189,62	0,179712842	28,8859639	834,3989105
180,99	191,19	0,056395955	10,20693467	104,1815153
201,24	164,62	0,181966747	36,61898824	1340,9503
188,34	154,39	0,180237198	33,9458738	1152,322348
210,70	189,95	0,098484238	20,75062897	430,5886026
208,12	211,79	0,017641906	3,671633513	13,48089266
215,86	232,78	0,078404563	16,92440888	286,4356161
290,68	274,63	0,05523137	16,05465475	257,7519391
331,96	313,08	0,056868526	18,87807586	356,3817482
354,32	289,05	0,184211571	65,26984376	4260,152505
337,98	288,11	0,147555979	49,87096975	2487,113624
292,40	266,23	0,089511297	26,17310336	685,0313396
143,05	187,10	0,307936895	44,05137664	1940,523784
161,08	188,65	0,17119916	27,57649185	760,4629026
176,64	162,43	0,080453005	14,21154053	201,9678842
169,51	152,34	0,101275125	17,1667414	294,6970102
196,08	187,42	0,044173382	8,661516669	75,021871
222,74	208,97	0,0618363	13,77341751	189,7070298
255,42	229,68	0,10079131	25,74411638	662,7595282
295,84	270,95	0,084119779	24,88599539	619,3127667
355,18	308,89	0,130323196	46,2881929	2142,596802
210,70	285,18	0,353475785	74,47734793	5546,875354
191,78	284,24	0,482138475	92,46451665	8549,68684
260,24	262,65	0,009283497	2,415900181	5,836573687

MAPE	12,27285505
MAD	26,59351031
MSD	1177,842604

Elaborado por: Germania Iza

Anexo 21

Calculo del ISQA Mensual del Río Guayllabamba Periodo 2016-2024

Año	Meses	T (°C)	Ecuación	DQO (mg/L)	Ecuación	SST (mg/L)	Ecuación	OD (mg/L)	Ecuación	CE (uS/cm)	Ecuación	ISQA
2016	Enero	22,65	0,97	42,43	6,15	343,94	0,00	7,81	19,52	194,65	20,19	44,34
	Febrero	22,80	0,97	58,39	0,56	350,64	0	7,88	19,71	196,27	20,13	38,99
	Marzo	23,71	0,95	57,63	0,83	572,88	0,00	8,28	20,69	169,00	21,13	40,67
	Abril	23,14	0,96	50,43	3,35	336,18	0,00	8,18	20,44	158,50	21,56	43,57
	Mayo	21,94	0,98	38,40	7,56	426,11	0,00	8,36	20,90	195,01	20,17	47,45
	Junio	22,17	0,97	45,41	5,11	221,99	1,46	8,14	20,34	217,44	19,44	45,09
	Julio	20,38	1,00	50,36	3,37	198,20	3,13	8,07	20,19	239,00	18,81	45,28
	Agosto	21,64	0,98	45,32	5,14	77,48	13,38	7,46	18,65	281,97	17,71	53,74
	Septiembre	23,27	0,96	37,54	7,86	121,62	8,49	7,86	19,66	321,46	16,83	50,67
	Octubre	22,70	0,97	82,41	0,00	322,87	0,00	7,96	19,89	296,80	17,36	36,00
	Noviembre	23,95	0,95	58,99	0,35	261,57	0,00	7,79	19,48	295,84	17,39	35,38
	Diciembre	22,37	0,97	52,24	2,71	258,30	0,00	7,71	19,28	273,38	17,91	38,73
2017	Enero	22,43	0,97	47,08	4,52	328,29	0,00	7,95	19,88	192,14	20,27	43,32
	Febrero	22,57	0,97	64,73	0,00	334,63	0,00	8,03	20,07	193,73	20,22	38,99
	Marzo	23,48	0,96	63,83	0,00	546,62	0,00	8,43	21,07	166,81	21,22	40,45
	Abril	22,91	0,96	55,81	1,47	320,71	0,00	8,33	20,81	156,45	21,65	42,33
	Mayo	21,72	0,98	42,46	6,14	406,43	0,00	8,51	21,28	192,48	20,26	46,65
	Junio	21,95	0,98	50,17	3,44	211,70	0,00	8,28	20,71	214,62	19,53	42,62
	Julio	20,18	1,00	55,60	1,54	188,98	0,00	8,22	20,55	235,89	18,90	41,00
	Agosto	21,43	0,98	50,00	3,50	73,86	13,92	7,59	18,99	278,30	17,79	53,24
	Septiembre	23,04	0,96	41,38	6,52	115,91	8,89	8,01	20,01	317,27	16,92	50,35
	Octubre	22,47	0,97	90,76	0,00	307,67	0,00	8,10	20,25	292,92	17,45	36,54
	Noviembre	23,71	0,95	64,92	0,00	249,20	0,44	7,93	19,83	291,97	17,47	36,00
	Diciembre	22,15	0,97	57,45	0,89	246,04	0,22	7,85	19,63	269,80	18,00	37,71

Año	Meses	T (°C)	Ecuación	DQO (mg/L)	Ecuación	SST (mg/L)	Ecuación	OD (mg/L)	Ecuación	CE (uS/cm)	Ecuación	ISQA
2018	Enero	22,21	0,97	51,74	2,89	312,65	0,00	8,10	20,24	189,62	20,36	42,29
	Febrero	22,35	0,97	71,08	0,00	318,61	0,00	8,17	20,43	191,19	20,31	39,54
	Marzo	23,25	0,96	70,04	0,00	520,36	0,00	8,58	21,45	164,62	21,31	41,02
	Abril	22,68	0,97	61,19	0,00	305,24	0,00	8,48	21,19	154,39	21,74	41,49
	Mayo	21,50	0,98	46,52	4,72	386,75	0,00	8,66	21,66	189,95	20,35	45,85
	Junio	21,73	0,98	54,93	1,77	201,41	2,90	8,43	21,08	211,79	19,62	44,39
	Julio	19,98	1,00	60,83	0,00	179,75	4,42	8,37	20,92	232,78	18,99	44,34
	Agosto	21,21	0,98	54,67	1,87	70,24	14,46	7,73	19,33	274,63	17,88	52,73
	Septiembre	22,81	0,96	45,22	5,17	110,21	9,29	8,15	20,37	313,08	17,01	50,02
	Octubre	22,25	0,97	99,11	0,00	292,46	0,00	8,25	20,61	289,05	17,54	37,08
	Noviembre	23,47	0,96	70,85	0,00	236,83	0,00	8,07	20,18	288,11	17,56	36,11
	Diciembre	21,92	0,98	62,66	0,00	233,78	0,64	7,99	19,98	266,23	18,09	37,78
2019	Enero	21,98	0,98	56,39	1,26	297,00	0,00	8,24	20,60	187,10	20,45	41,26
	Febrero	22,12	0,97	77,43	0,00	302,60	0,00	8,32	20,79	188,65	20,39	40,09
	Marzo	23,01	0,96	76,25	0,00	494,11	0,00	8,73	21,83	162,43	21,40	41,60
	Abril	22,45	0,97	66,58	0,00	289,77	0,00	8,63	21,56	152,34	21,82	42,06
	Mayo	21,29	0,98	50,58	3,30	367,06	0,00	8,82	22,04	187,42	20,44	45,04
	Junio	21,51	0,98	59,69	0,11	191,11	3,62	8,58	21,45	208,97	19,71	44,04
	Julio	19,78	1,00	66,07	0,00	170,53	5,06	8,52	21,29	229,68	19,08	45,56
	Agosto	21,00	0,99	59,34	0,23	66,62	15,01	7,87	19,66	270,95	17,97	52,22
	Septiembre	22,58	0,97	49,05	3,83	104,50	9,68	8,29	20,73	308,89	17,10	49,69
	Octubre	22,02	0,97	107,46	0,00	277,26	0,00	8,39	20,98	285,18	17,63	37,63
	Noviembre	23,23	0,96	76,77	0,00	224,47	1,29	8,21	20,53	284,24	17,65	37,88
	Diciembre	21,70	0,98	67,86	0,00	221,52	1,49	8,13	20,33	262,65	18,18	39,15

Año	Meses	T (°C)	Ecuación	DQO (mg/L)	Ecuación	SST (mg/L)	Ecuación	OD (mg/L)	Ecuación	CE (uS/cm)	Ecuación	ISQA
2020	Enero	21,76	0,98	61,04	0,00	281,36	0,00	8,38	20,96	184,59	20,54	40,59
	Febrero	21,90	0,98	83,77	0,00	286,59	0,00	8,46	21,16	186,12	20,49	40,65
	Marzo	22,78	0,97	82,45	0,00	467,85	0,00	8,88	22,21	160,24	21,49	42,18
	Abril	22,22	0,97	71,96	0,00	274,30	0,00	8,77	21,94	150,28	21,92	42,63
	Mayo	21,07	0,99	54,65	1,87	347,38	0,00	8,97	22,42	184,89	20,53	44,23
	Junio	21,29	0,98	64,46	0,00	180,82	4,34	8,73	21,82	206,14	19,80	45,22
	Julio	19,58	1,01	71,31	0,00	161,30	5,71	8,66	21,66	226,57	19,17	46,78
	Agosto	20,78	0,99	64,01	0,00	63,00	15,55	8,00	20,00	267,28	18,06	53,09
	Septiembre	22,35	0,97	52,89	2,49	98,80	10,18	8,43	21,09	304,70	17,19	49,45
	Octubre	21,80	0,98	115,81	0,00	262,05	0,00	8,53	21,34	281,30	17,72	38,18
	Noviembre	23,00	0,96	82,70	0,00	212,10	2,15	8,36	20,89	280,38	17,74	39,26
	Diciembre	21,48	0,98	73,07	0,00	209,25	2,35	8,27	20,68	259,08	18,27	40,54
2021	Enero	21,54	0,98	65,69	0,00	265,71	0,00	8,53	21,32	182,07	20,63	41,14
	Febrero	21,68	0,98	90,12	0,00	270,58	0,00	8,61	21,52	183,58	20,58	41,21
	Marzo	22,55	0,97	88,66	0,00	441,59	0,00	9,04	22,59	158,06	21,58	42,76
	Abril	21,99	0,98	77,34	0,00	258,84	0,00	8,92	22,31	148,23	22,01	43,21
	Mayo	20,85	0,99	58,71	0,45	327,70	0,00	9,12	22,81	182,36	20,62	43,41
	Junio	21,08	0,99	69,22	0,00	170,53	5,06	8,88	22,20	203,32	19,89	46,52
	Julio	19,37	1,01	76,54	0,00	152,08	6,35	8,81	22,03	223,46	19,26	48,02
	Agosto	20,57	0,99	68,68	0,00	59,38	16,09	8,14	20,34	263,61	18,16	54,21
	Septiembre	22,12	0,97	56,73	1,15	93,09	11,04	8,58	21,44	300,51	17,28	49,56
	Octubre	21,57	0,98	124,16	0,00	246,85	0,28	8,68	21,70	277,43	17,82	39,01
	Noviembre	22,76	0,97	88,63	0,00	199,73	3,02	8,50	21,24	276,52	17,84	40,65
	Diciembre	21,26	0,98	78,27	0,00	196,99	3,21	8,41	21,03	255,50	18,37	41,93

Año	Meses	T (°C)	Ecuación	DQO (mg/L)	Ecuación	SST (mg/L)	Ecuación	OD (mg/L)	Ecuación	CE (uS/cm)	Ecuación	ISQA
2022	Enero	21,31	0,98	70,35	0,00	250,07	0,50	8,67	21,68	179,56	20,73	42,20
	Febrero	21,45	0,98	96,46	0,00	254,57	0,00	8,75	21,88	181,04	20,67	41,78
	Marzo	22,31	0,97	94,87	0,00	415,33	0,00	9,19	22,97	155,87	21,67	43,35
	Abril	21,77	0,98	82,72	0,00	243,37	0,04	9,07	22,69	146,17	22,10	43,83
	Mayo	20,64	0,99	62,77	0,00	308,02	0,00	9,28	23,19	179,83	20,72	43,55
	Junio	20,86	0,99	73,98	0,00	160,24	5,78	9,03	22,57	200,49	19,99	47,82
	Julio	19,17	1,01	81,78	0,00	142,85	7,00	8,96	22,39	220,35	19,36	49,26
	Agosto	20,36	1,00	73,36	0,00	55,76	16,64	8,27	20,68	259,94	18,25	55,32
	Septiembre	21,89	0,98	60,56	0,00	87,39	11,89	8,72	21,80	296,32	17,37	49,86
	Octubre	21,35	0,98	132,51	0,00	231,64	0,79	8,82	22,06	273,56	17,91	40,07
	Noviembre	22,52	0,97	94,56	0,00	187,37	3,88	8,64	21,59	272,65	17,93	42,04
	Diciembre	21,04	0,99	83,48	0,00	184,73	4,07	8,55	21,38	251,93	18,46	43,34
2023	Enero	21,09	0,99	75,00	0,00	234,42	0,59	8,81	22,04	177,04	20,82	42,85
	Febrero	21,23	0,98	102,81	0,00	238,56	0,30	8,90	22,24	178,50	20,76	42,64
	Marzo	22,08	0,97	101,07	0,00	389,07	0,00	9,34	23,35	153,68	21,77	43,94
	Abril	21,54	0,98	88,11	0,00	227,90	1,05	9,22	23,06	144,12	22,20	45,41
	Mayo	20,42	0,99	66,83	0,00	288,34	0,00	9,43	23,57	177,29	20,81	44,15
	Junio	20,64	0,99	78,74	0,00	149,94	6,50	9,18	22,94	197,67	20,08	49,13
	Julio	18,97	1,01	87,02	0,00	133,62	7,65	9,11	22,76	217,24	19,45	50,50
	Agosto	20,14	1,00	78,03	0,00	52,14	17,18	8,41	21,02	256,27	18,35	56,45
	Septiembre	21,66	0,98	64,40	0,00	81,68	12,75	8,86	22,16	292,13	17,47	51,29
	Octubre	21,12	0,99	140,86	0,00	216,43	1,85	8,97	22,42	269,69	18,00	41,68
	Noviembre	22,28	0,97	100,48	0,00	175,00	4,75	8,78	21,95	268,79	18,03	43,45
	Diciembre	20,81	0,99	88,69	0,00	172,47	4,93	8,69	21,72	248,35	18,56	44,75

Año	Meses	T (°C)	Ecuación	DQO (mg/L)	Ecuación	SST (mg/L)	Ecuación	OD (mg/L)	Ecuación	CE (uS/cm)	Ecuación	ISQA
2024	Enero	20,87	0,99	79,65	0,00	218,78	1,69	8,96	22,40	174,53	20,92	44,51
	Febrero	21,00	0,99	109,15	0,00	222,55	1,42	9,04	22,60	175,96	20,86	44,32
	Marzo	21,84	0,98	107,28	0,00	362,81	0,00	9,49	23,73	151,49	21,86	44,54
	Abril	21,31	0,98	93,49	0,00	212,43	2,13	9,37	23,43	142,06	22,29	47,07
	Mayo	20,20	1,00	70,90	0,00	268,66	0,00	9,58	23,95	174,76	20,91	44,74
	Junio	20,42	0,99	83,50	0,00	139,65	7,22	9,32	23,31	194,84	20,18	50,45
	Julio	18,77	1,02	92,25	0,00	124,40	8,29	9,25	23,13	214,13	19,55	51,75
	Agosto	19,93	1,00	82,70	0,00	48,52	17,72	8,54	21,36	252,60	18,44	57,58
	Septiembre	21,42	0,98	68,24	0,00	75,98	13,60	9,01	22,51	287,94	17,57	52,73
	Octubre	20,90	0,99	149,21	0,00	201,23	2,91	9,11	22,78	265,81	18,10	43,30
	Noviembre	22,05	0,97	106,41	0,00	162,63	5,62	8,92	22,30	264,92	18,12	44,86
	Diciembre	20,59	0,99	93,89	0,00	160,21	5,79	8,83	22,07	244,78	18,65	46,17

Elaborado por: Germania Iza

Anexo 22

Calculo del ISQA Anual del Río Guayllabamba Periodo 2020-2024

Año	Parámetros fisicoquímicos	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio	Ecuación
2020	T(°C)	21,76	21,90	22,78	22,22	21,07	21,29	19,58	20,78	22,35	21,80	23,00	21,48	21,67	0,98
	DQO (mg/L)	61,04	83,77	82,45	71,96	54,65	64,46	71,31	64,01	52,89	115,81	82,70	73,07	73,18	0,00
	SST (mg/L)	281,36	286,59	467,85	274,30	347,38	180,82	161,30	63,00	98,80	262,05	212,10	209,25	237,07	0,00
	OD (mg/L)	8,38	8,46	8,88	8,77	8,97	8,73	8,66	8,00	8,43	8,53	8,36	8,27	8,54	21,35
	CE (uS/cm) a 18°C	184,59	186,12	160,24	150,28	184,89	206,14	226,57	267,28	304,70	281,30	280,38	259,08	224,30	19,24
ISQA														39,74	
2021	T(°C)	21,54	21,68	22,55	21,99	20,85	21,08	19,37	20,57	22,12	21,57	22,76	21,26	21,44	0,98
	DQO (mg/L)	65,69	90,12	88,66	77,34	58,71	69,22	76,54	68,68	56,73	124,16	88,63	78,27	78,56	0,00
	SST (mg/L)	265,71	270,58	441,59	258,84	327,70	170,53	152,08	59,38	93,09	246,85	199,73	196,99	223,59	1,35
	OD (mg/L)	8,53	8,61	9,04	8,92	9,12	8,88	8,81	8,14	8,58	8,68	8,50	8,41	8,68	21,71
	CE (uS/cm) a 18°C	182,07	183,58	158,06	148,23	182,36	203,32	223,46	263,61	300,51	277,43	276,52	255,50	221,22	19,33
ISQA														41,62	
2022	T(°C)	21,31	21,45	22,31	21,77	20,64	20,86	19,17	20,36	21,89	21,35	22,52	21,04	21,22	0,98
	DQO (mg/L)	70,35	96,46	94,87	82,72	62,77	73,98	81,78	73,36	60,56	132,51	94,56	83,48	83,95	0,00
	SST (mg/L)	250,07	254,57	415,33	243,37	308,02	160,24	142,85	55,76	87,39	231,64	187,37	184,73	210,11	6,52
	OD (mg/L)	8,67	8,75	9,19	9,07	9,28	9,03	8,96	8,27	8,72	8,82	8,64	8,55	8,83	22,07
	CE (uS/cm) a 18°C	179,56	181,04	155,87	146,17	179,83	200,49	220,35	259,94	296,32	273,56	272,65	251,93	218,14	19,42
ISQA														47,28	

Año	Parámetros físicoquímicos	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio	Ecuación
2023	T(°C)	21,09	21,23	22,08	21,54	20,42	20,64	18,97	20,14	21,66	21,12	22,28	20,81	21,00	0,99
	DQO (mg/L)	75,00	102,81	101,07	88,11	66,83	78,74	87,02	78,03	64,40	140,86	100,48	88,69	89,34	0,00
	SST (mg/L)	234,42	238,56	389,07	227,90	288,34	149,94	133,62	52,14	81,68	216,43	175,00	172,47	196,63	3,24
	OD (mg/L)	8,81	8,90	9,34	9,22	9,43	9,18	9,11	8,41	8,86	8,97	8,78	8,69	8,97	22,44
	CE (uS/cm) a 18°C	177,04	178,50	153,68	144,12	177,29	197,67	217,24	256,27	292,13	269,69	268,79	248,35	215,06	19,52
ISQA														44,63	
2024	T(°C)	20,87	21,00	21,84	21,31	20,20	20,42	18,77	19,93	21,42	20,90	22,05	20,59	20,78	0,99
	DQO (mg/L)	79,65	109,15	107,28	93,49	70,90	83,50	92,25	82,70	68,24	149,21	106,41	93,89	94,72	0,00
	SST (mg/L)	218,78	222,55	362,81	212,43	268,66	139,65	124,40	48,52	75,98	201,23	162,63	160,21	183,15	4,18
	OD (mg/L)	8,96	9,04	9,49	9,37	9,58	9,32	9,25	8,54	9,01	9,11	8,92	8,83	9,12	22,80
	CE (uS/cm) a 18°C	174,53	175,96	151,49	142,06	174,76	194,84	214,13	252,60	287,94	265,81	264,92	244,78	211,99	19,61
ISQA														46,14	

Elaborado por: Germania Iza

Anexo 23

Calculo del ISQA del Río Guayllabamba en Época Lluviosa periodo 2020-2024

Año	Parámetros fisicoquímicos	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Promedio	Ecuación
2020	T(°C)	21,80	23,00	21,48	21,76	21,90	22,78	22,22	21,07	22,00	0,97
	DQO (mg/L)	115,81	82,70	73,07	61,04	83,77	82,45	71,96	54,65	78,18	0,00
	SST (mg/L)	262,05	212,10	209,25	281,36	286,59	467,85	274,30	347,38	292,61	0,00
	OD (mg/L)	8,53	8,36	8,27	8,38	8,46	8,88	8,77	8,97	8,58	21,45
	CE (uS/cm) a 18°C	281,30	280,38	259,08	184,59	186,12	160,24	150,28	184,89	210,86	19,65
	ISQA										40,07
2021	T(°C)	21,57	22,76	21,26	21,54	21,68	22,55	21,99	20,85	21,77	0,98
	DQO (mg/L)	124,16	88,63	78,27	65,69	90,12	88,66	77,34	58,71	83,95	0,00
	SST (mg/L)	246,85	199,73	196,99	265,71	270,58	441,59	258,84	327,70	276,00	0,00
	OD (mg/L)	8,68	8,50	8,41	8,53	8,61	9,04	8,92	9,12	8,73	21,81
	CE (uS/cm) a 18°C	277,43	276,52	255,50	182,07	183,58	158,06	148,23	182,36	207,97	19,74
	ISQA										40,63
2022	T(°C)	21,35	22,52	21,04	21,31	21,45	22,31	21,77	20,64	21,55	0,98
	DQO (mg/L)	132,51	94,56	83,48	70,35	96,46	94,87	82,72	62,77	89,72	0,00
	SST (mg/L)	231,64	187,37	184,73	250,07	254,57	415,33	243,37	308,02	259,39	0,00
	OD (mg/L)	8,82	8,64	8,55	8,67	8,75	9,19	9,07	9,28	8,87	22,18
	CE (uS/cm) a 18°C	273,56	272,65	251,93	179,56	181,04	155,87	146,17	179,83	205,08	19,84
	ISQA										41,20

2023	T(°C)	21,12	22,28	20,81	21,09	21,23	22,08	21,54	20,42	21,32	0,98
	DQO (mg/L)	140,86	100,48	88,69	75,00	102,81	101,07	88,11	66,83	95,48	0,00
	SST (mg/L)	216,43	175,00	172,47	234,42	238,56	389,07	227,90	288,34	242,78	0,01
	OD (mg/L)	8,97	8,78	8,69	8,81	8,90	9,34	9,22	9,43	9,02	22,54
	CE (uS/cm) a 18°C	269,69	268,79	248,35	177,04	178,50	153,68	144,12	177,29	202,18	19,93
ISQA											41,78
2024	T(°C)	20,90	22,05	20,59	20,87	21,00	21,84	21,31	20,20	21,10	0,99
	DQO (mg/L)	149,21	106,41	93,89	79,65	109,15	107,28	93,49	70,90	101,25	0,00
	SST (mg/L)	201,23	162,63	160,21	218,78	222,55	362,81	212,43	268,66	226,16	1,17
	OD (mg/L)	9,11	8,92	8,83	8,96	9,04	9,49	9,37	9,58	9,16	22,91
	CE (uS/cm) a 18°C	265,81	264,92	244,78	174,53	175,96	151,49	142,06	174,76	199,29	20,03
ISQA											43,50

Elaborado por: Germania Iza

Anexo 24

Calculo del ISQA del Río Guayllabamba en Época Seca Periodo 2020-2024

Año	Parámetros fisicoquímicos	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Promedio	Ecuación
2020	T(°C)	21,29	19,58	20,78	22,35	21,00	0,99
	DQO (mg/L)	64,46	71,31	64,01	52,89	63,17	0,00
	SST (mg/L)	180,82	161,30	63,00	98,80	125,98	8,18
	OD (mg/L)	8,73	8,66	8,00	8,43	8,46	21,14
	CE (uS/cm) a 18°C	206,14	226,57	267,28	304,70	251,17	18,48
ISQA						47,21	
2021	T(°C)	21,08	19,37	20,57	22,12	20,78	0,99
	DQO (mg/L)	69,22	76,54	68,68	56,73	67,79	0,00
	SST (mg/L)	170,53	152,08	59,38	93,09	118,77	8,69
	OD (mg/L)	8,88	8,81	8,14	8,58	8,60	21,50
	CE (uS/cm) a 18°C	203,32	223,46	263,61	300,51	247,72	18,57
ISQA						48,28	
2022	T(°C)	20,86	19,17	20,36	21,89	20,57	0,99
	DQO (mg/L)	73,98	81,78	73,36	60,56	72,42	0,00
	SST (mg/L)	160,24	142,85	55,76	87,39	111,56	9,19
	OD (mg/L)	9,03	8,96	8,27	8,72	8,74	21,86
	CE (uS/cm) a 18°C	200,49	220,35	259,94	296,32	244,28	18,67
ISQA						49,37	
2023	T(°C)	20,64	18,97	20,14	21,66	20,35	1,00
	DQO (mg/L)	78,74	87,02	78,03	64,40	77,05	0,00
	SST (mg/L)	149,94	133,62	52,14	81,68	104,35	9,70
	OD (mg/L)	9,18	9,11	8,41	8,86	8,89	22,22
	CE (uS/cm) a 18°C	197,67	217,24	256,27	292,13	240,83	18,76
ISQA						50,45	
2024	T(°C)	20,42	18,77	19,93	21,42	20,14	1,00
	DQO (mg/L)	83,50	92,25	82,70	68,24	81,67	0,00
	SST (mg/L)	139,65	124,40	48,52	75,98	97,14	10,43
	OD (mg/L)	9,32	9,25	8,54	9,01	9,03	22,58
	CE (uS/cm) a 18°C	194,84	214,13	252,60	287,94	237,38	18,86
ISQA						51,78	

Elaborado por: Germania Iza